

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Nůžkový zvedák na kolejnice

Scissor Jack for Rails

Student:

Radek Vašíček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ivana Kunzová, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání bakalářské práce

Student:	Radek Vašíček
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Studijní obor:	2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace:	40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma:	Nůžkový zvedák na kolejnice Scissor Jack for Rails
Jazyk vypracování:	čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte a pevnostně zkontrolujte nůžkový zvedák, který se bude pohybovat po kolejnicích o rozvoru 780 mm. Zvedák je určen do skladů pro přepravu břemen do hmotnosti 2000 kg a velikosti zvedaných kotoučů od průměru 100 do 2000 mm. Zdvih musí splnit podmínku, aby při minimálním průměru 100 mm bylo dosaženo osově výšky 1883 mm od země a při maximálním průměru 2000 mm byla minimální osová výška 1900 mm.

Navrhněte pohon zvedáku.

Nakreslete sestavu zvedáku a výrobní výkres vybrané strojní součásti.

Seznam doporučené odborné literatury:


Bolek, A.; Kochman, J. Části strojů I. Praha: SNTL, 1989. 775s. ISBN 80-03-00046-7
Bolek, A.; Kochman, J. Části strojů II. Praha: SNTL, 1990. 707s. ISBN 80-03-00426-8
Dejl, Z. Konstrukce strojů a zařízení I. Ostrava: Montanex, 2000. 225s. ISBN 80-7225-018-3
Kaláb, K. Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části spojovací. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 90s. ISBN 978-80-248-1290-8
Kaláb, K. Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části pohonů strojů. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 128s. ISBN 978-80-248-1860-3
Leinveber, J.; Vávra, P. Strojnické tabulky. Albra-pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2006. 914s. ISBN 80-7361-033-7
Normy, katalogy, prospekty a www-stránky k dané problematice

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

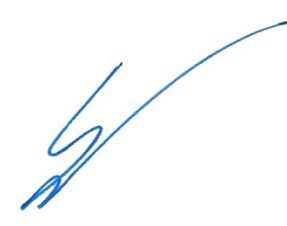
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivana Kunzová, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. května 2016

.....

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě tuto diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16. května 2016

.....

Jméno a příjmení autora práce:

Radek Vašíček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nerudova 761, 783 91 Uničov

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VAŠÍČEK, R. *Nůžkový zvedák na kolejnice: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2016, 44s. Vedoucí práce: Kunzová, I.

Bakalářská práce se zabývá kontrolou nůžkového zvedáku a novým řešením jeho pohonu po kolejnicích. První část seznamuje s typy zvedacích zařízení a jejich použitím. V následujících částech je kontrola stávajícího nůžkového zvedáku a návrh jeho nového pojezdu. Zdvih nůžkové konstrukce je realizován díky hydraulickým pístům a pohon pomocí elektromotoru. Výsledkem práce je kontrola nůžkového zvedáku a návrh jejího nového pohonu pojezdu. Příloha je tvořena výkresovou dokumentací.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

VAŠÍČEK, R. *Scissor Jack for Rails.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanism, 2016, 44p. Thesis head: Kunzová, I.

The bachelor thesis dealt with the design of scissor jack for rails and new construction proposal of its movement on tracks. In the first part there are several types of scissor jacks and their use. In the following part there are examination of existing scissor jack and new design of movement on tracks. Lift of scissor construction is implemented by hydraulic mechanism and movement by electromotor. The result of the thesis is the successful examination of scissor jack and construction proposal of its new movement on tracks. The attachment is mainly composed of the technical drawings.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	9
1 ÚVOD.....	11
2 Způsob využití nůžkových zvedáků	11
2.1 Ruční nůžkový zvedák (hever).....	11
2.2 Pojezdové montážní stoly	12
2.3 Samohybné nůžkové plošiny.....	12
2.4 Nůžkové plošiny pro vyrovnání výšky	13
2.5 Využití jako nákladní výtah	14
2.6 Nůžkový zvedák automobilů.....	14
2.7 Velkoformátové stoly.....	15
3 Popis konstrukce	16
4 Kontrola nůžkové konstrukce	17
4.1 Počet nůžek mechanismu	18
4.2 Úhel naklopení	18
4.3 Výpočet reakcí v ramenech nůžkového zvedáku	19
4.4 Způsob zatěžujících sil na ramena zvedáku	20
4.4.1 Zatížení od hmotnosti břemene	21
4.4.2 Zatížení zvedáku od vlastní hmotnosti	21
4.4.3 Zatížení od poloviny hmotnosti nůžkového mechanismu	21
4.5 Reakce v kloubech 1,3,5,6	22
4.6 Reakce v kloubech 2,3,4	24
4.7 Reakce v kloubech 4,7,9	26
4.8 Reakce v kloubech 6,7,8	28
4.9 Reakce ve spodním rámu čepů 8, 5, 9.....	30
5 Výpočet jednotlivých sil v čepích	30
5.1 Rovnice pro sestavení matice.....	31
5.2 Sestavení matice.....	31

6 Kontrola ramen nůžkového mechanismu.	31
6.1 Kontrola vzpěr.....	33
7 Kontrola čepů:.....	36
7.1 Čep 1	36
7.2 Čep 2 a 9:	37
7.3 Čep 3,6,7	38
7.4 Čep 4	39
8 Návrh pohonu zvedáku	41
Elektromotor a převodovka, viz obrázek 8.1	41
8.1 Volba elektromotoru a převodovky.	41
9 Závěr	44
10 Zdroje.....	45

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
B_v	šířka profilu ramena	mm
E	modul pružnosti	MPa
F_{in}	normálové síly působící na čepy ramen	N
F_{it}	tečné síly působící na čepy ramen	N
F_{ix}	síly v ose x působící na čepy ramen	N
F_{iy}	síly v ose y působící na čepy ramen	N
F_n	zatěžující síla od poloviny hmotnosti nůžek	N
F_{pl}	zatěžující síla od poloviny hmotnosti horního rámu	N
F_z	zatěžující síla od poloviny hmotnosti břemene	N
H_L	horizontální vzdálenost zatížení od břemene	mm
H_v	výška profilu ramen	mm
J_x	kvadratický moment v ose x	mm ⁴
J_y	kvadratický moment v ose y	mm ⁴
$L_{\check{c}}$	vzdálenost čepů v rameni	mm
L_H	vertikální vzdálenost čepů	mm
L_p	vzdálenost dolního čepu pístu od čepu č.9	mm
L_z	stálá vzdálenost zatížení od břemene	mm
M_o	ohybový moment	Nm
M_{oi}	maximální ohybový moment	Nm
Re	mez kluzu	MPa
S_v	plocha průřezu	mm ²
W_o	modul pružnosti	mm ³
a, b, m	materiálové konstanty	-
a	vzdálenost pístu od čepu číslo 6	mm
b	vzdálenost spodního čepu pístu od spodního rámu	mm
b_v	vnitřní šířka ramena	mm
$d_{\check{c}i}$	průměr čepu	mm
h_v	vnitřní výška profilu ramene	mm
i_v	poloměr setrvačnosti	mm
k_s	bezpečnost	-
m_n	hmotnost nůžkové konstrukce	kg
m_{pl}	hmotnost horního rámu	kg

m_z	hmotnost břemene	kg
t_v	tloušťka stěny profilu ramene	mm
α	úhel naklopení	°
β	úhel naklopení pístu	°
λ_v	štíhlost tyče	-
σ_o	napětí ohybu	MPa
σ_d	dovolené napětí	MPa

Seznam zkratk

Aj.	a jiné
Mm	milimetr
Kg	kilogram

1 ÚVOD

Mechanismus nůžkové zvedací plošiny má široké spektrum využití a mnoho nesporných výhod, díky kterým je často upřednostňován před ostatními typy zvedacích plošin. Zdvih se pohybuje až do několika metrů a je možno zvedat stovky kilogramů. Zvedáky nejsou omezeny jen na vnitřní použití. Lze je využít i v terénu.

Pojezdy mohou mít elektrický pohon nebo spalovací motor, záleží pouze na způsobu použití a možnostech provozovatele, zda je schopen zajistit elektrické vedení dráhy, dobíjení baterií, nebo využije variantu spalovacího motoru.

V bakalářské práci je řešen postup kontrolního výpočtu nůžkového zvedáku pro břemena o hmotnosti až 2000kg a návrh elektrického pohonu pojezdu zvedáku.

2 Způsob využití nůžkových zvedáků

Nůžkové zvedáky mají několik způsobů využití, slouží pro zvedání osob, břemen aj. Existuje několik druhů zvedáků. Každý jednotlivý typ má jisté přednosti pro využití v dané úloze.

2.1 Ruční nůžkový zvedák (hever)

Jedná se o velmi jednoduchý mechanismus, který k vykonávání práce využívá lidskou sílu. Konstrukce se odlišuje od klasických nůžkových mechanismů a využití tohoto zvedáku, má jiné opodstatnění. Nejedná se o celoplošné zvedání břemen, nýbrž zvedání je realizováno v jednom bodě. Ke zvedání je využit pohybový šroub a dopravní výšky se pohybují okolo 300mm s nosností několika tun.



Obr. 2.1 – Ruční nůžkový zvedák [1]

2.2 Pojezdové montážní stoly

Pojezdové montážní stoly slouží ke zvedání břemen a transport různých druhů zboží. Stůl se skládá převážně z jednoho, či dvou nůžkových mechanismů sloužících k docílení požadovaného zdvihu. Pohon stolu je realizován pomocí manuálního hydraulického čerpadla nebo může být vybaven elektrohydraulickým a pohyb celého stopu je ručně po kolečkách konstrukce. Nosnost této konstrukce se pohybuje až okolo 1 tuny. Tyto stoly jsou výborným pomocníkem ve výrobě, kdy může dojít k lepší bezpečnosti práce a produktivitě výroby.



Obr. 2.2 – Pojezdový montážní stůl [2]

2.3 Samohybné nůžkové plošiny

Velmi dobrý způsob pro zvedání osob a břemen. Vyznačují se svými rozměry, kdy za velmi malých rozměrů je možno dosáhnout velkých dopravních výšek. Způsob pohonu může být volen mezi naftovou variantou či elektrifikovanou verzí zvedáku. Všechny typy těchto zvedáků podléhají přísným normám a zásadám obsluhy, které musí být splněny. Elektrické verze slouží převážně do hal, kde je zpevněný povrch, popř. jiné zpevněné povrchy. Nevýhodou těchto elektrických pohonů je nutnost dobíjení baterií. Interval nabíjení závisí dle využití zvedáku a konkrétního modelu. Plošiny poháněné naftovým motorem mohou být uzpůsobeny i k dojezdu na hůře přístupný terén a často mívají pohon všech čtyř kol. Plošiny jsou ovládány pomocí panelu s joystickem, který je z pravidla umístěn v koši horního rámu plošiny. Koš je také většinou vybaven výsuvnou plošinou pro lepší přístup k dané činnosti.



Obr. 2.3 – Samohybná nůžková plošina [3]

2.4 Nůžkové plošiny pro vyrovnání výšky

Mezi nejčastěji použité nůžkové plošiny řadíme tzv. nůžkové plošiny pro vyrovnání výšky. Jejich uplatnění spočívá při přemísťování břemen do požadované výšky a nakládání do požadovaného patra. Díky vyrovnání výšek nakládání a vykládání máme usnadněnou manipulaci s břemeny. Jedná se jen o jednoduchý jedno-nůžkový mechanismus poháněný hydraulikou. Velké využití nachází od nakládání zboží v obchodech po umísťování aut do různých pater budovy.



Obr. 2.4 - Nůžková plošina pro vyrovnání výšky [4]

2.5 Využití jako nákladní výtah

Při manipulaci s břemeny s požadavkem jejich transportu mezi jednotlivými patry budovy je vhodné využít nůžkovou plošinu s několika nůžkovými mechanismy pro dosažení požadovaného zdvihu. Bezespornu největší výhodou nůžkového mechanismu jako výtahu je, že nepotřebuje žádné postranní vedení a kotvení plošiny pouze v podlaze, což se může hodit i do starších budov. Plošiny mají zpravidla instalované zábradlí a taktéž jednotlivá patra jsou opatřena zábradlím, aby se zamezilo pádu do šachty.



Obr. 2.5 – Nůžková plošina jako nákladní výtah [5]

2.6 Nůžkový zvedák automobilů

Tento typ nůžkového zvedáku má široké využití zejména v autoservisech i pneuservisech pro zvedání automobilů, díky čemuž je komfortní oprava či seřizování. Hlavní výhodou těchto nůžkových zvedáků je jejich zabudování v zemi. Nůžkový zvedák je zabudován do předem připraveného místa v podlaze, díky čemuž v nejnižší poloze je rovnoběžně s podlahou a nezabírá tak žádné místo. Jedná se o dva stejné zvedáky umístěné vedle sebe, které pohání hydraulický válec.



Obr. 2.6 – Nůžkový zvedák automobilů [6]

2.7 Velkoformátové stoly

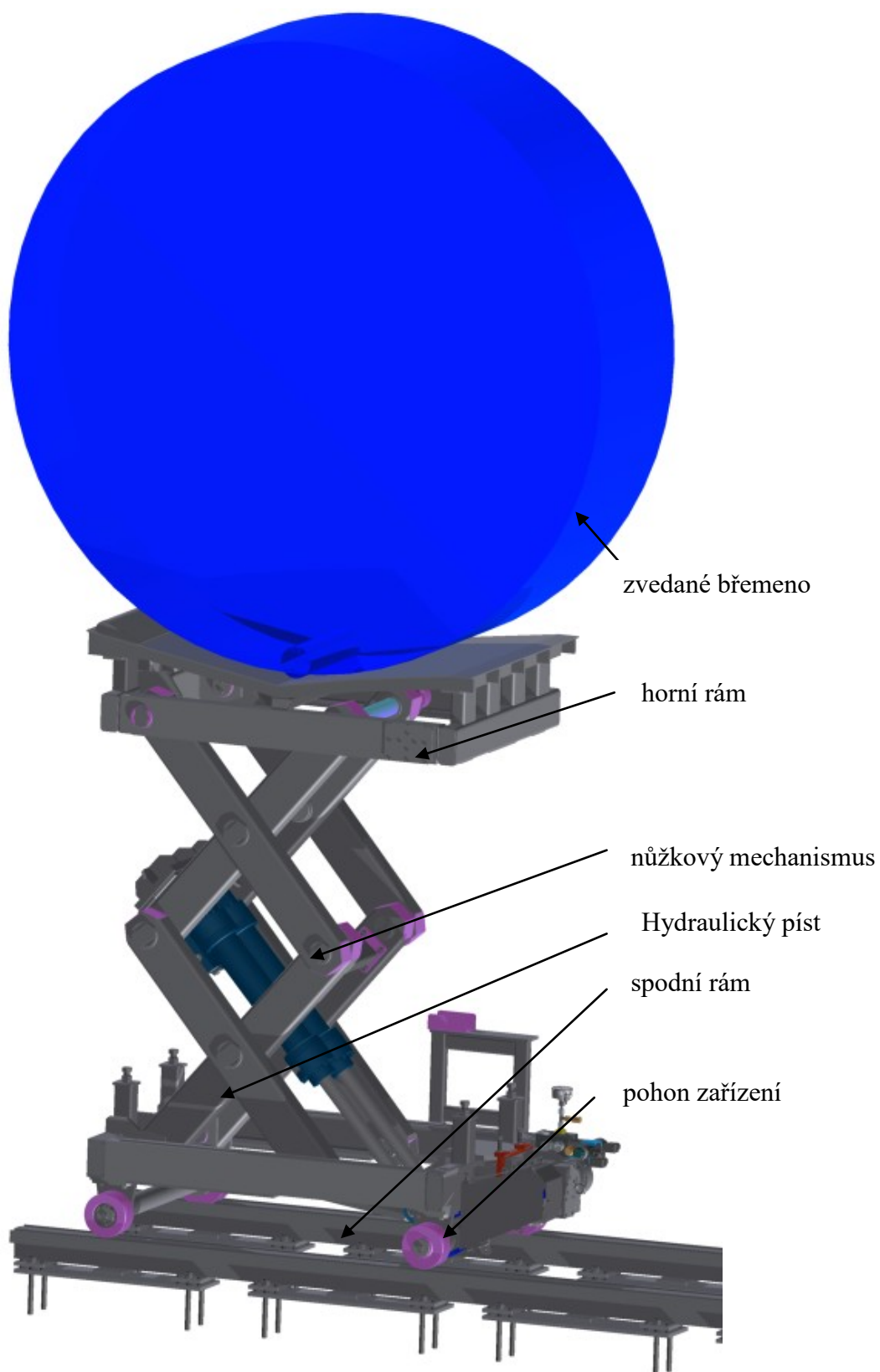
Jak už název napovídá, jedná se o stoly s velkou pracovní plochou a většinou také i s velkou nosností v řádech tun. Toto řešení je vhodnější, než využití několika menších zvedacích stolů, při kterém může dojít k špatnému rozložení vah a ohrožení pracovníků. Další nespornou výhodou tohoto řešení zdvihu stolu je, že nůžkový mechanismus nepřesahuje nikde pracovní desku, díky čemuž je možno pracovat s břemeny, které mají různé tvary



Obr. 2.7 – Velkoformátový stůl [7]

3 Popis konstrukce

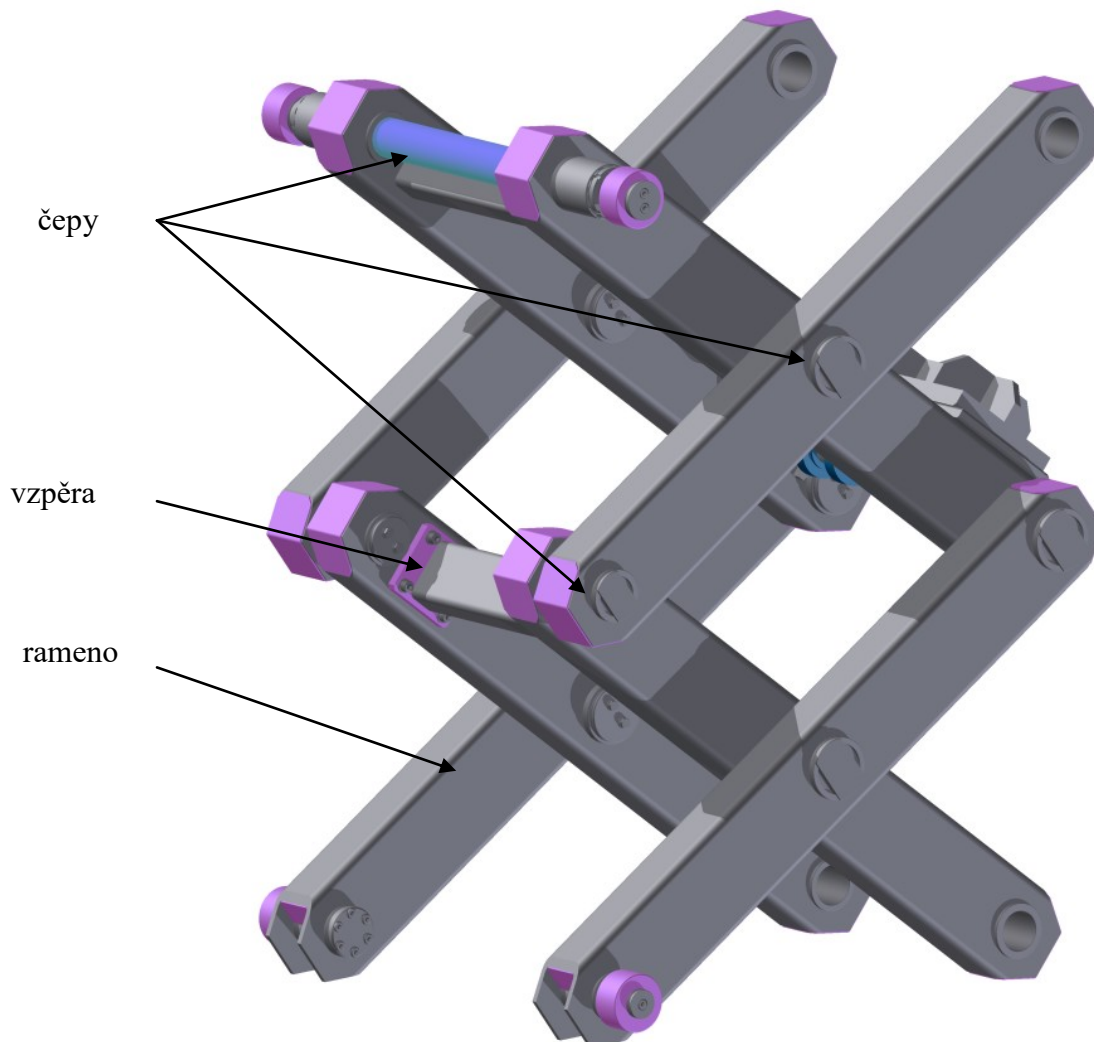
Na obr. 3.1 je ukázka kontrolovaného zvedáku včetně popisků jednotlivých částí.



Obr. 3.1 – Popis nůžkového zvedáku

4 Kontrola nůžkové konstrukce

Konstrukce je zobrazena na obrázku 4.1, skládá se ze dvou stejných nůžek nad sebou, které jsou společně zajištěny čepy. Každá část je tvořena ze dvou ramen, které jsou z obdélníkových profilů a příčných výztuh.

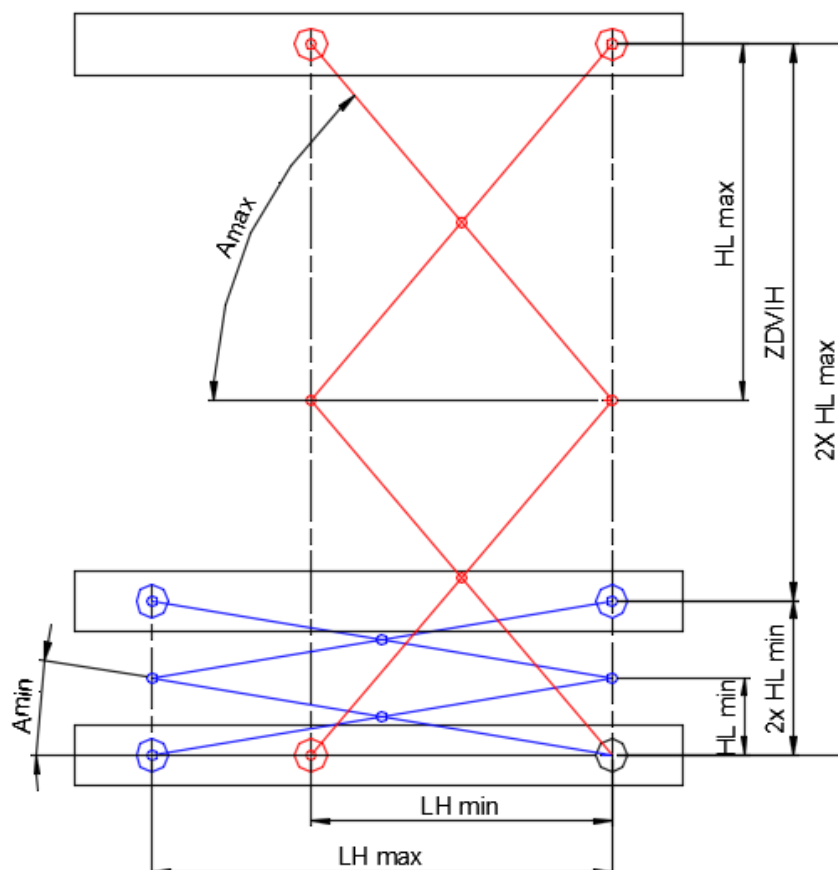


Obr. 4.1 – Konstrukce nůžkového zvedáku

Každé rameno je zajištěno pomocí tří čepů, které se nachází na začátku, uprostřed a na konci ramen. Ramena jsou vyztužena vzpěrami. Ramena jsou zajištěna jak ve spodním rámu, tak i v horním rámu v drážkách a díky nim je zajištěn pouze horizontální pohyb čepů a stabilita celého mechanismu. Mezi každým ramenem jsou dále umístěny třecí kroužky.

4.1 Počet nůžek mechanismu

Zdvih je požadován takový, aby nejmenší návin o průměru 100mm dosáhl maximální výšky 1800mm, což dvoj-nůžkový mechanismus splňuje i při zachování rozměrů 1200x850mm. Na obr. 5.1 jsou zdvihy schematicky naznačeny.



Obr. 4.2 – Minimální a maximální zdvih

4.2 Úhel naklopení

Úhel naklopení se pohybuje v rozmezí od $9,55^\circ$, což je minimální úhel α_{min} , viz obr. 4.2 (výše). Úhel je omezen dorazy, které se nachází na spodním rámu. Maximální úhel $\alpha_{max} = 49^\circ$, je omezen tím, aby splnil požadovaný zdvih a také funkční délkou pístu, která je 365mm.

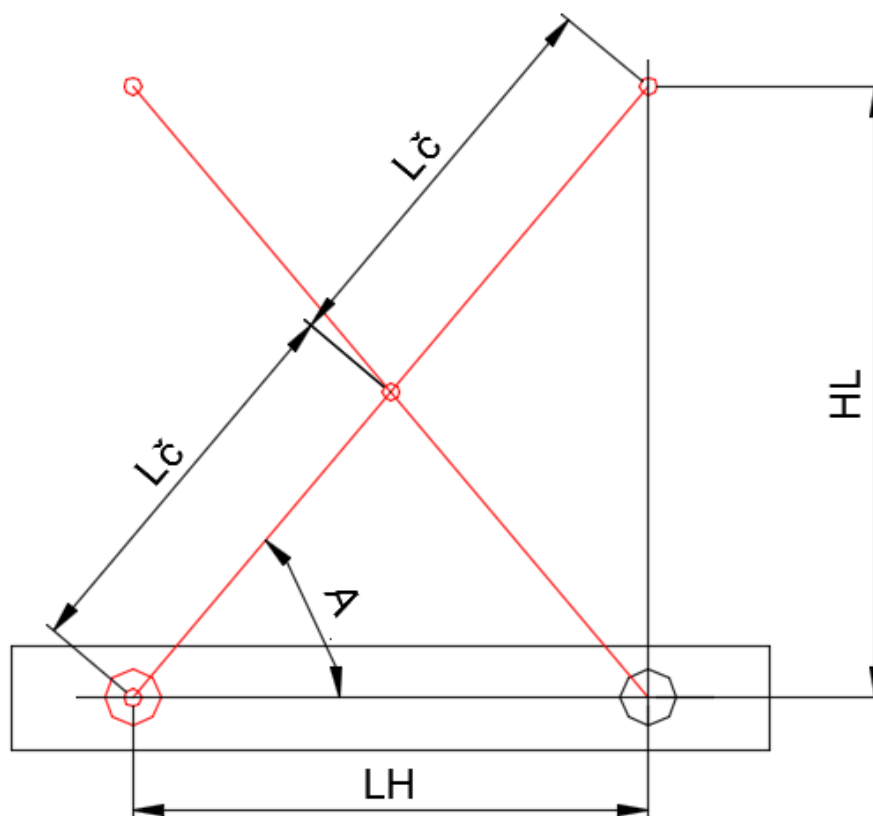
Výpočet je prováděn podle obr. 4.3 a je dán do tabulky (viz přílohy – Tab. A 1 – Délky, výšky a síly pro jednotlivé úhly naklopení), kde jsou výpočty jednotlivých H_L a L_H pro příslušné úhly α .

L_H je délka mezi čepy, která je závislá na zdvihu pístu a tím spojeným úhlem α .

$L_{\check{c}}$ je vzdálenost jednotlivých čepů a H_L je výška zdvihu jednoho mechanismu pro příslušný úhel α .

$$\cos \alpha = \frac{L_H}{2 \cdot L_{\check{c}}} \Rightarrow L_H = 2 \cdot L_{\check{c}} \cdot \cos \alpha \quad (4.1)$$

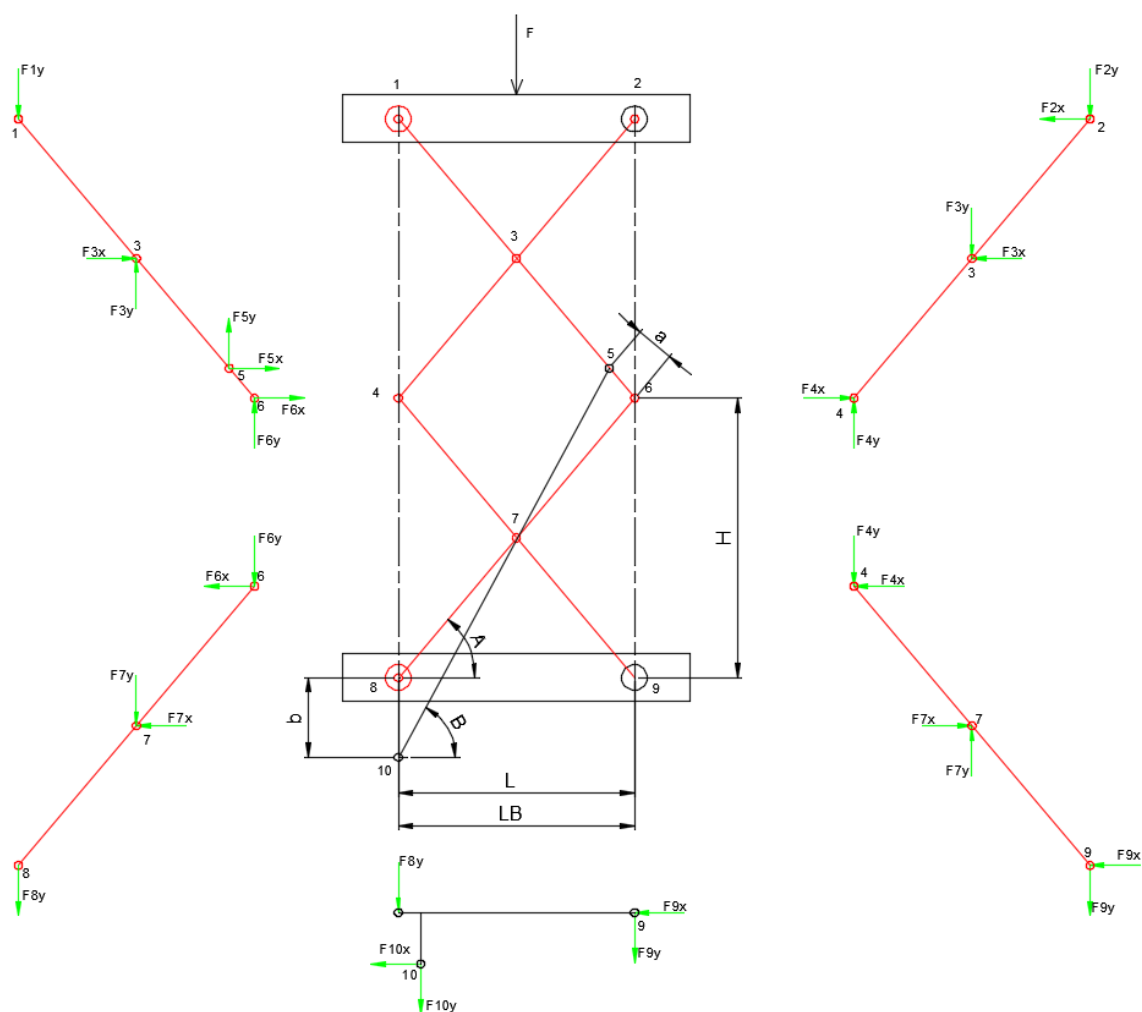
$$\sin \alpha = \frac{H_L}{2 \cdot L_{\check{c}}} \Rightarrow H_L = 2 \cdot L_{\check{c}} \cdot \sin \alpha \quad (4.2)$$



Obr. 4.3 - Schéma závislosti výšky zdvihu na úhlu naklopení

4.3 Výpočet reakcí v ramenech nůžkového zvedáku

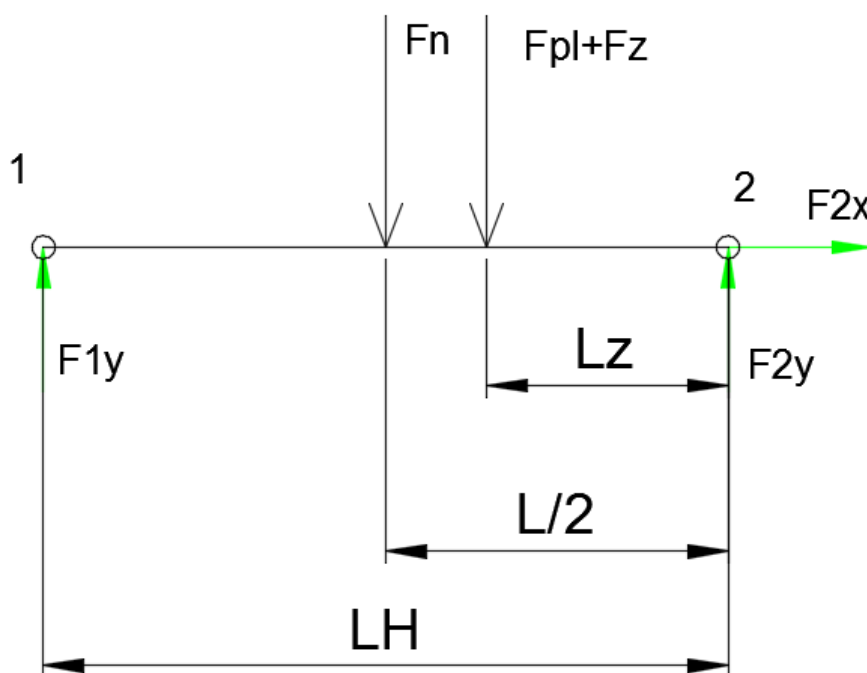
Celý výpočet jsem řešil jako statický. Použil jsem metodu uvolnění jednotlivých prvků mechanismu, viz obr. 4.4 - Celkové schéma rozboru sil, výpočet je řešen vyjmutím každého prvku ze soustavy a sestavení příslušných rovnic rovnováhy. Zadané zatížení plošiny je znázorněno v obr. 4.5 – Rozklad sil zatížení.



Obr. 4.4 - Celkové schéma rozkladu sil

4.4 Způsob zatěžujících sil na ramena zvedáku

Nejideálnější způsob zatížení od břemene zvedáku se nachází ve vzdálenosti $L/2$, což nám nastane jen v případě, kdy bude $L_H = 2 \cdot L_z$. L_z je v našem případě 600 mm a $L_{Hmax} = 907$ mm, takže se v žádném stavu nedostaneme do ideálního zatížení a každý z čepů bude zatěžován jinou silou v závislosti na zdvihu, viz tabulka (viz přílohy – Tab. A 1).



Obr. 4.5 – Rozklad zatěžujících sil

4.4.1 Zatížení od hmotnosti břemene

$$F_z = m_z \cdot g = 2000 \cdot 9,81 = 19\,620\,N \quad (4.3)$$

m_z - hmotnost břemene, $m_z = 2000\,kg$.

4.4.2 Zatížení zvedáku od vlastní hmotnosti

Zatížení od hmotnosti horního rámu je rovnoměrně přenášeno na levou i pravou stranu nůžek, proto počítám s poloviční hmotností.

$$F_{pl} = \frac{m_{pl} \cdot g}{2} = \frac{218 \cdot 9,81}{2} = 1069,29\,N \quad (4.4)$$

m_{pl} - hmotnost rámu, viz výkres sestavy

4.4.3 Zatížení od poloviny hmotnosti nůžkového mechanismu

Nůžkový mechanismus je tvořen ze dvou nad sebou řazených nůžek. Zatížení je rozprostřeno na levou i pravou stranu rovnoměrně, proto počítám s poloviční hmotností nůžek.

$$F_N = \frac{m_N \cdot g}{2} = \frac{338 \cdot 9,81}{2} = 1657,89\,N \quad (4.5)$$

m_N - hmotnost nůžkového mechanismu (ramena, vzpěry, čepy, matice, aj.).

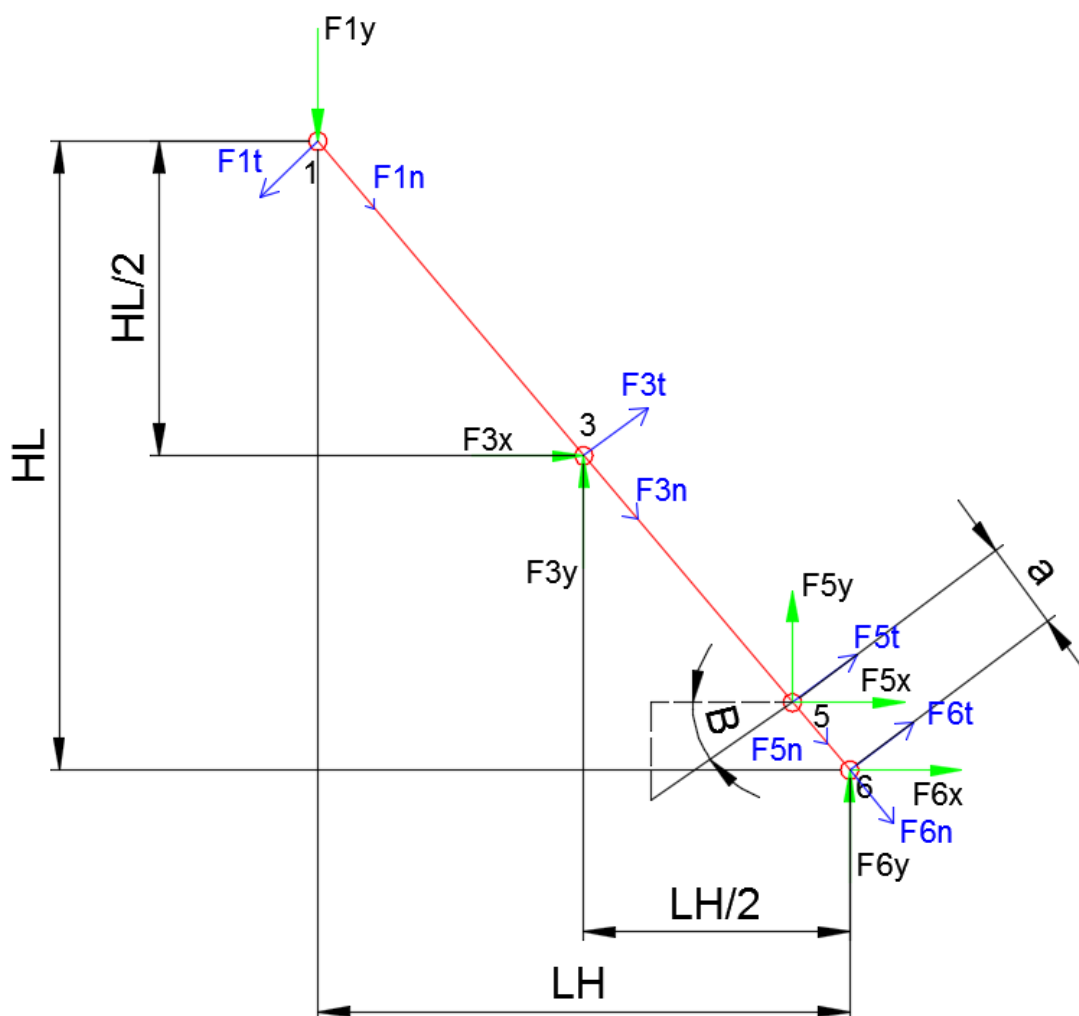
$$\Sigma F_X = 0, \quad F_{2x} = 0 \quad (4.6)$$

$$\Sigma F_Y = 0, \quad -F_N - F_{PL} - F_z + F_{1Y} + F_{2Y} = 0 \Rightarrow F_{2Y} = F_N + F_{PL} + F_z - F_{1Y} \quad (4.7)$$

$$\Sigma M_2 = 0, \quad F_{1Y} \cdot L - F_N \cdot \frac{L}{2} - F_{PL} \cdot L_z - F_z \cdot L_z = 0 \Rightarrow$$

$$F_{1Y} = \frac{F_N \cdot \frac{L}{2} + F_{PL} \cdot L_z + F_z \cdot L_z}{L} \quad (4.8)$$

4.5 Reakce v kloubech 1,3,5,6



Obr. 4.6 – Reakce v čepích ramene 1, 3, 5, 6

$$\Sigma F_X = 0, \quad F_{3X} + F_{5X} + F_{6X}$$

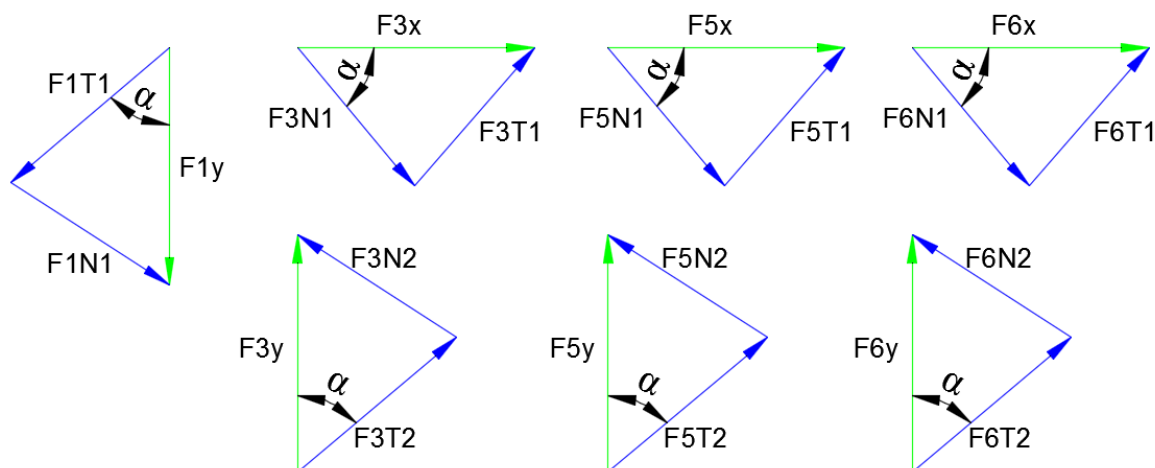
$$\Sigma F_Y = 0, \quad -F_{1Y} + F_{3Y} + F_{5Y} + F_{6Y} = 0$$

$$\Sigma M_6 = 0, \quad F_{1Y} \cdot L_H - F_{3Y} \cdot \frac{L_H}{2} - F_{5Y} \cdot a \cdot \cos \alpha - F_{3X} \cdot \frac{H_L}{2} - F_{5X} \cdot a \cdot \sin \alpha = 0$$

$$F_{5X} = F_5 \cdot \cos \beta$$

$$F_{5Y} = F_5 \cdot \sin \beta$$

Výpočet tečných a normálových sil -- obr. 4.7



Obr. 4.7 - Rozklad tečných a normálových sil pro rameno 1, 3, 5, 6

Tečné síly:

$$F_{1T} = F_{1Y} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{3T} = F_{3T1} + F_{3T2}$$

$$F_{3T1} = F_{3X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{3T2} = F_{3Y} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{5T} = F_{5T1} + F_{5T2}$$

$$F_{5T1} = F_{5X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{5T2} = F_{5Y} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{6T} = F_{6T1} + F_{6T2}$$

$$F_{6T1} = F_{6X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{6T2} = F_{6Y} \cdot \cos \alpha$$

Normálové síly:

$$F_{1N} = F_{1Y} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{3N} = F_{3N1} - F_{3N2}$$

$$F_{3N1} = F_{3X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{3N2} = F_{3Y} \cdot \sin \alpha$$

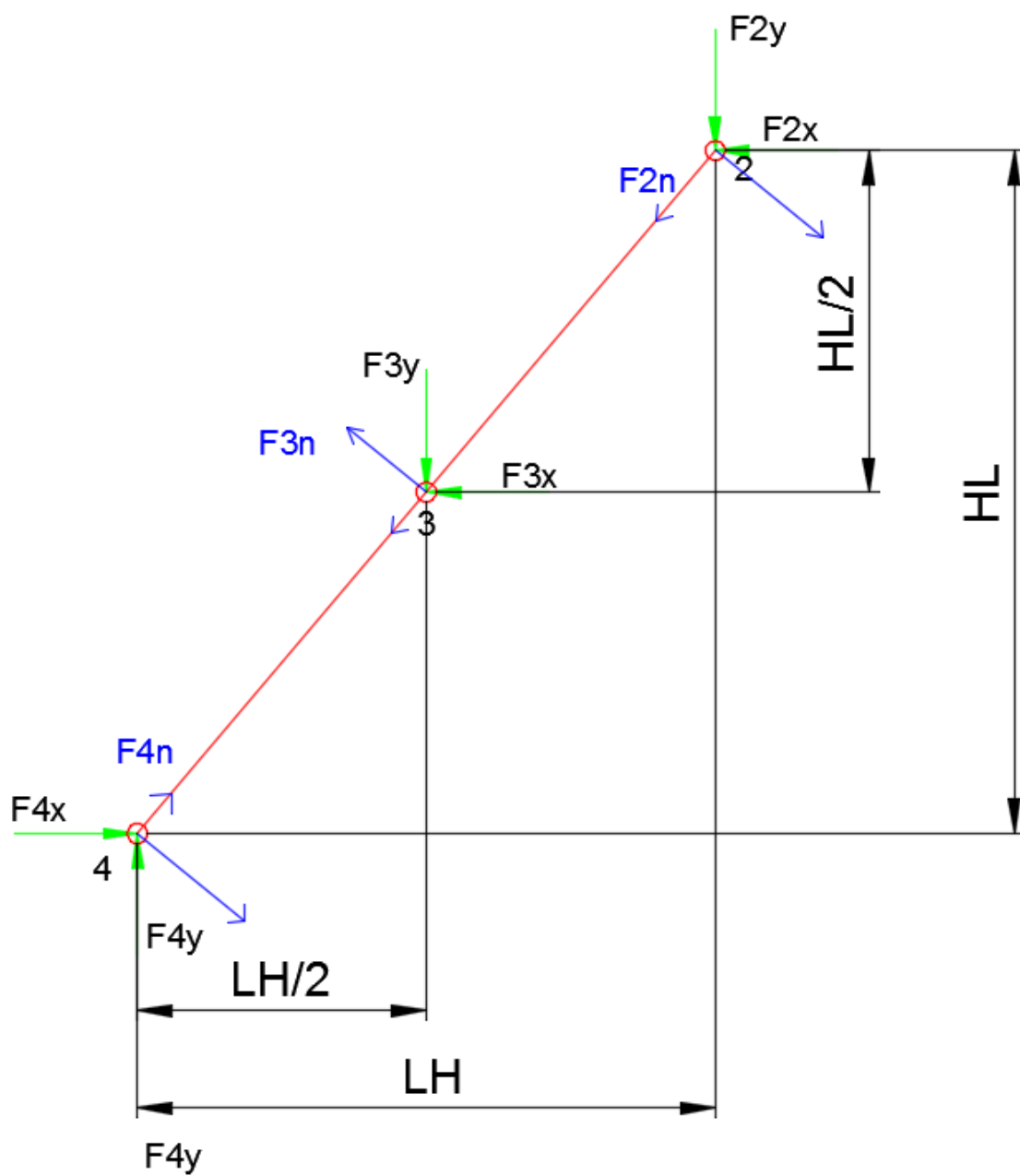
$$F_{5N} = F_{5N1} - F_{5N2}$$

$$F_{5N1} = F_{5X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{5N2} = F_{5Y} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{6N} = F_{6N1} - F_{6N2}$$

$$F_{6N1} = F_{6X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{6N2} = F_{6Y} \cdot \sin \alpha$$

4.6 Reakce v kloubech 2,3,4



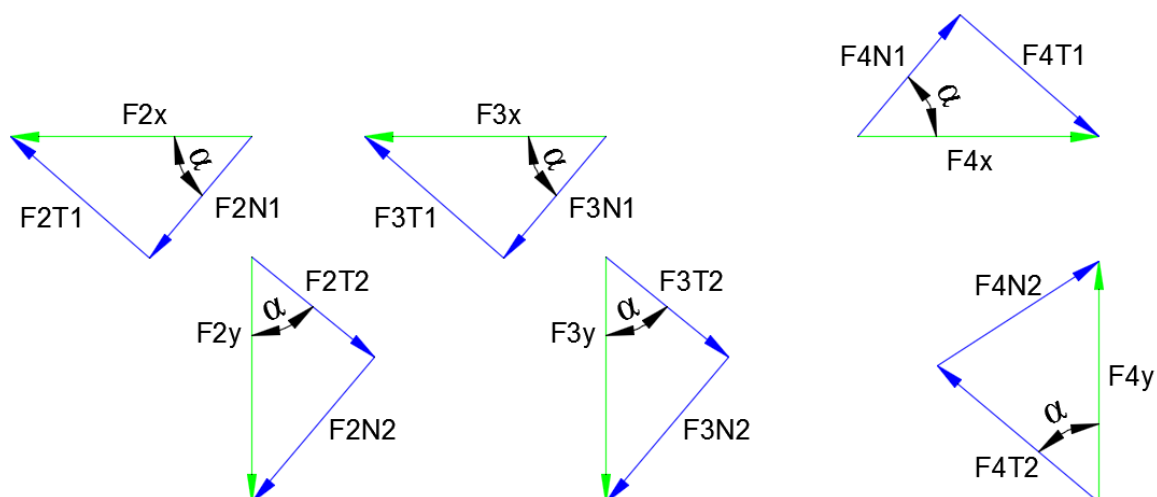
Obr. 4.8 – Reakce v čepích ramene 2, 3, 4

$$\Sigma F_x = 0, \quad -F_{2x} - F_{3x} + F_{4x} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0, \quad -F_{2y} - F_{3y} + F_{4y} = 0$$

$$\Sigma M_4 = F_{2x} \cdot H_L + F_{3x} \cdot \frac{H_L}{2} - F_{2y} \cdot L_H - F_{3y} \cdot \frac{L_H}{2} = 0$$

Výpočet tečných a normálových sil, viz obr. 4.9



Obr. 4.9 Rozklad tečných a normálových sil pro rameno 2, 3, 4

Tečné síly:

$$F_{2T} = F_{2T1} - F_{2T2}$$

$$F_{2T1} = F_{2X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{2T2} = F_{2Y} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{3T}' = F_{3T1} - F_{3T2}$$

$$F_{3T1} = F_{3X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{3T2} = F_{3Y} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{4T} = F_{4T1} - F_{4T2}$$

$$F_{4T1} = F_{4X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{4T2} = F_{4Y} \cdot \cos \alpha$$

Normálové síly:

$$F_{2N} = F_{2N1} + F_{2N2}$$

$$F_{2N1} = F_{2X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{2N2} = F_{2Y} \cdot \sin \alpha$$

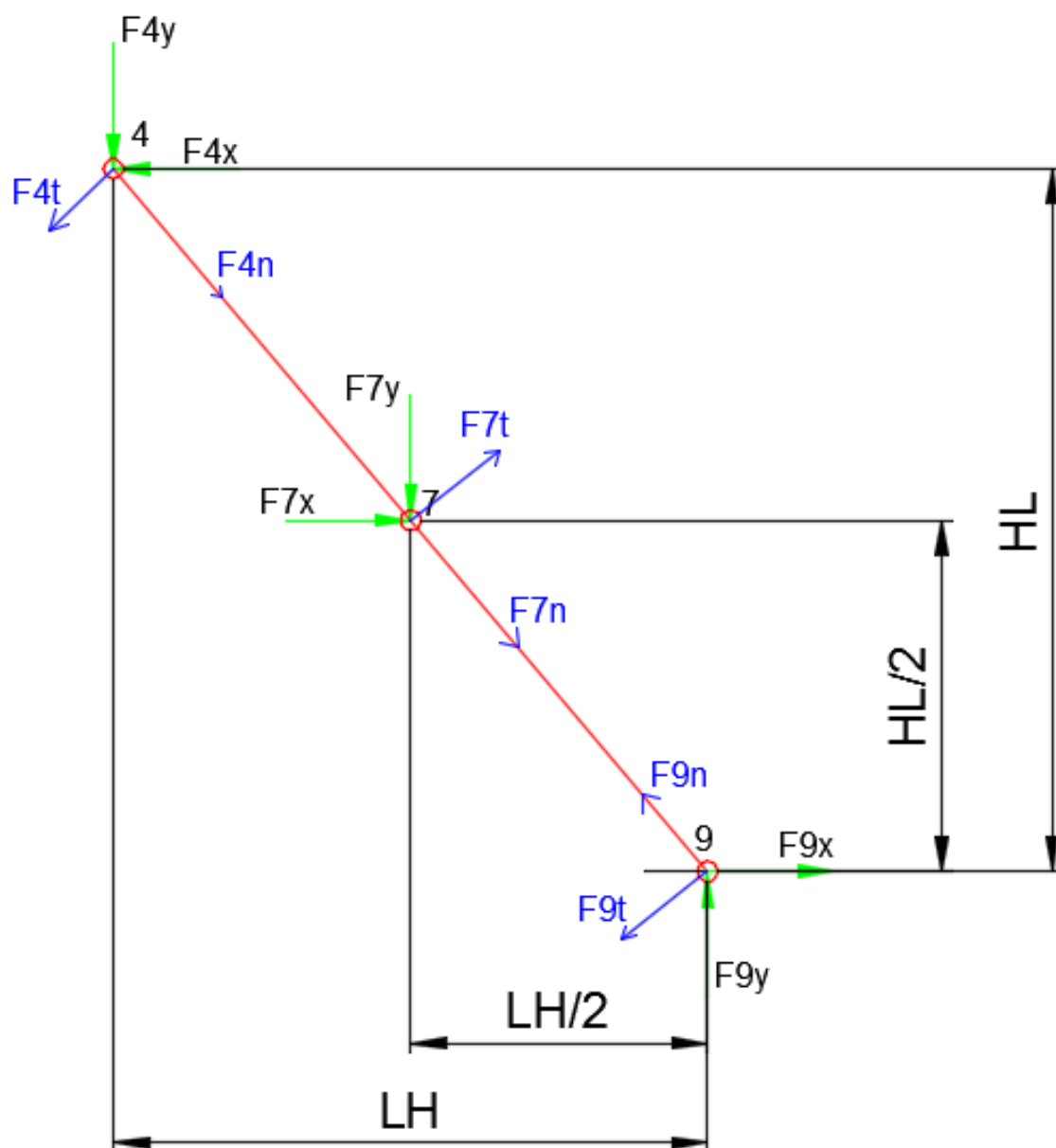
$$F_{3N}' = F_{3N1} + F_{3N2}$$

$$F_{3N1} = F_{3X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{3N2} = F_{3Y} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{4N} = F_{4N1} + F_{4N2}$$

$$F_{4N1} = F_{4X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{4N2} = F_{4Y} \cdot \sin \alpha$$

4.7 Reakce v kloubech 4,7,9



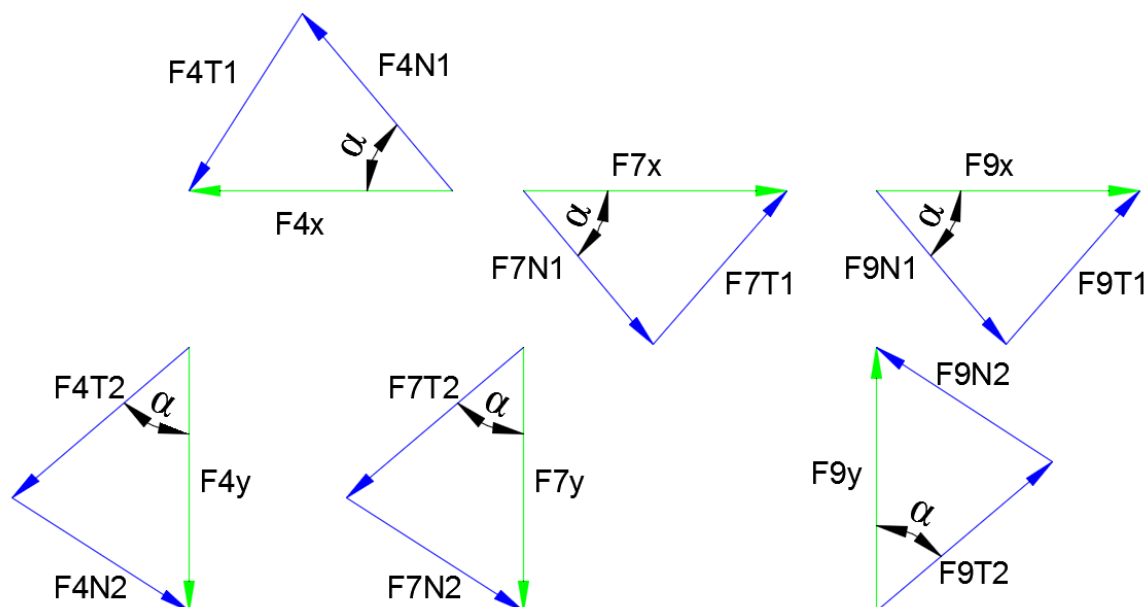
Obr. 4. 10 – Reakce v čepích ramene 4, 7, 9

$$\Sigma F_X = 0, \quad -F_{4X} + F_{7X} + F_{9X} = 0$$

$$\Sigma F_Y = 0, \quad -F_{4Y} - F_{7Y} + F_{9Y} = 0$$

$$\Sigma M_9 = 0, \quad F_{4Y} \cdot LH + F_{7Y} \cdot \frac{LH}{2} + F_{4X} \cdot HL - F_{7X} \cdot \frac{HL}{2} = 0$$

Výpočet tečných a normálových sil, viz obr. 4.11



Obr. 4.11 - Rozklad tečných a normálových sil pro rameno 4, 7, 9

Tečné síly:

$$F_{4T}' = F_{4T1} + F_{4T2}$$

$$F_{4T1} = F_{4X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{4T2} = F_{4Y} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{7T} = F_{7T1} - F_{7T2}$$

$$F_{7T1} = F_{7X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{7T2} = F_{7Y} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{9T} = F_{9T1} + F_{9T2}$$

$$F_{9T1} = F_{9X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{9T2} = F_{9Y} \cdot \cos \alpha$$

Normálové síly:

$$F_{4N}' = F_{4N1} - F_{4N2}$$

$$F_{4N1} = F_{4X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{4N2} = F_{4Y} \cdot \sin \alpha$$

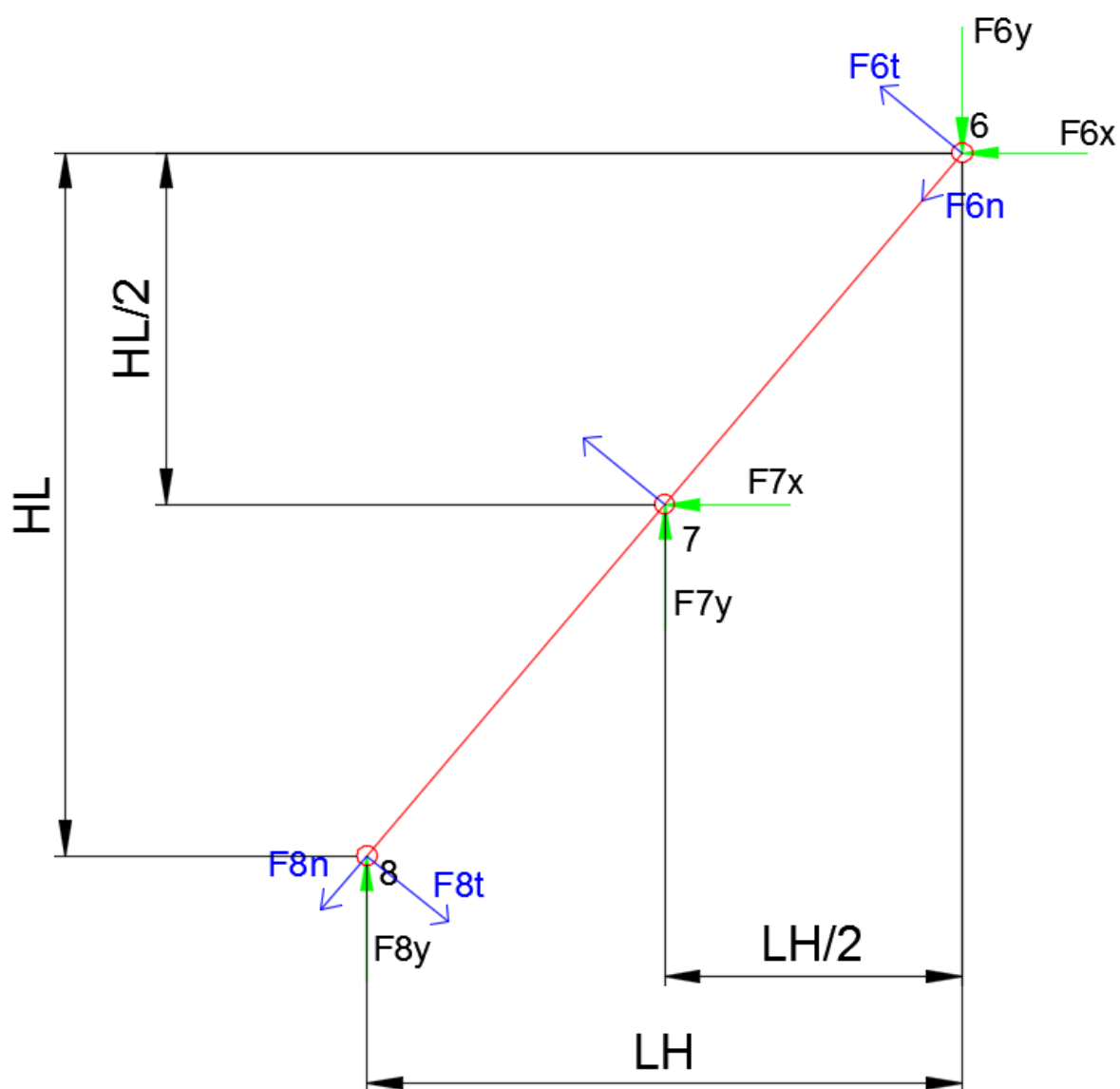
$$F_{7N} = F_{7N1} + F_{7N2}$$

$$F_{7N1} = F_{7X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{7N2} = F_{7Y} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{9N} = F_{9N1} - F_{9N2}$$

$$F_{9N1} = F_{9X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{9N2} = F_{9Y} \cdot \sin \alpha$$

4. 8 Reakce v kloubech 6,7,8



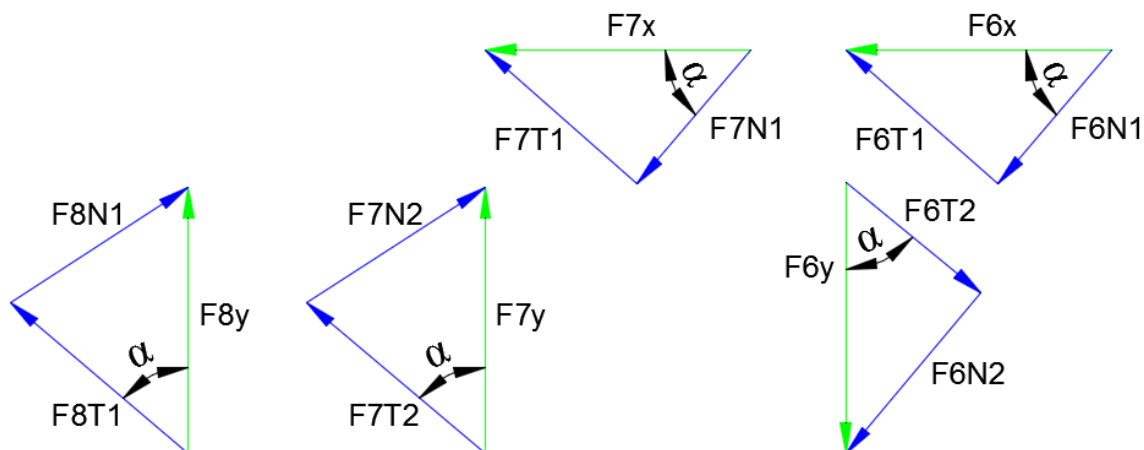
Obr. 4.12 – Reakce v čepích ramene 6, 7, 8

$$\Sigma F_X = 0, \quad -F_{6X} - F_{7X} = 0$$

$$\Sigma F_Y = 0, \quad -F_{6Y} + F_{7Y} + F_{8Y} = 0$$

$$\Sigma M_8 = 0, \quad F_{6X} \cdot H_L + F_{7X} \cdot \frac{H_L}{2} - F_{6Y} \cdot L_H + F_{7Y} \cdot \frac{L_H}{2} = 0$$

Výpočet tečných a normálových sil, viz obr. 4.13



Obr. 4.13 - Rozklad tečných a normálových sil pro rameno 6, 7, 8

Tečné síly:

$$F_{6T'} = F_{6T1} - F_{6T2}$$

$$F_{6T1} = F_{6X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{6T2} = F_{6Y} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{7T'} = F_{7T1} + F_{7T2}$$

$$F_{7T1} = F_{7X} \cdot \sin \alpha, \quad F_{7T2} = F_{7Y} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{8T} = F_{8Y} \cdot \cos \alpha$$

Normálové síly:

$$F_{6N'} = F_{6N1} + F_{6N2}$$

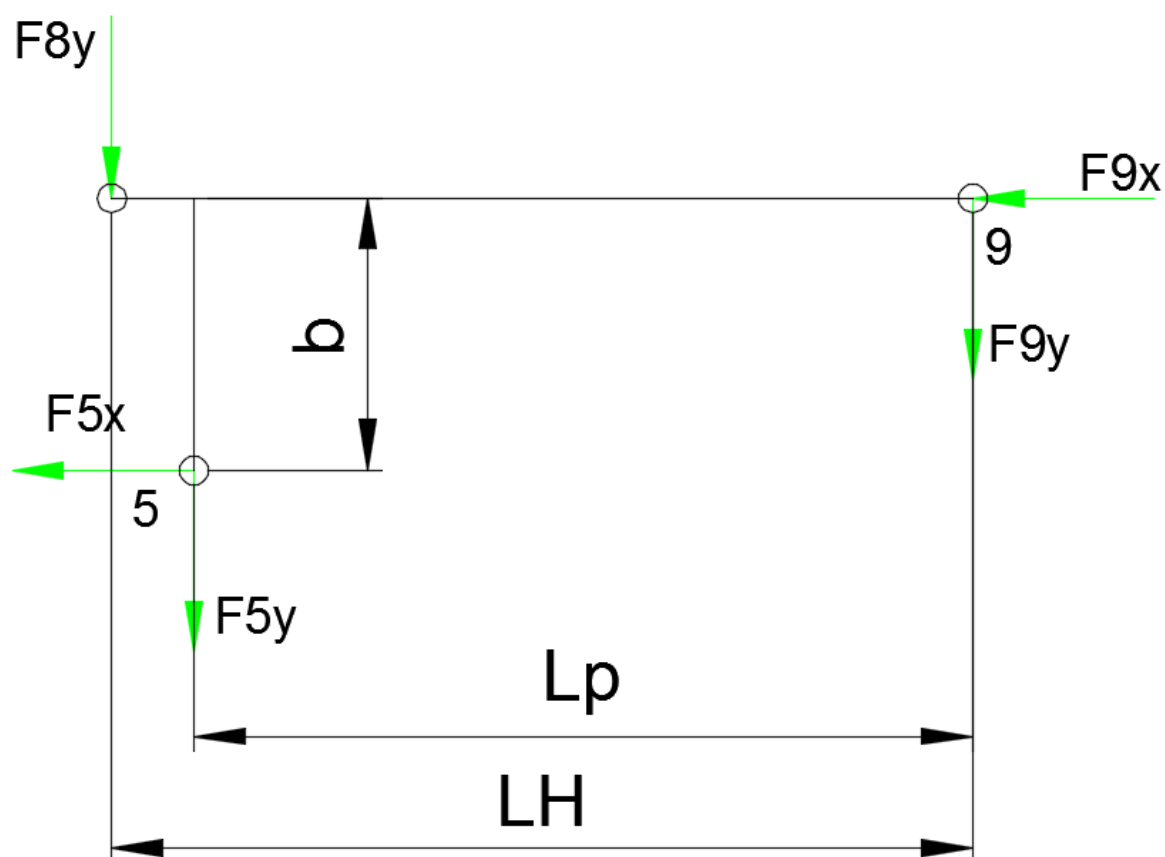
$$F_{6N1} = F_{6X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{6N2} = F_{6Y} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{7N'} = F_{7N1} - F_{7N2}$$

$$F_{7N1} = F_{7X} \cdot \cos \alpha, \quad F_{7N2} = F_{7Y} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{8N} = F_{8Y} \cdot \sin \alpha$$

4.9 Reakce ve spodním rámu čepů 8, 5, 9



Obr. 4.14 – Reakce čepů 8, 5, 9

$$\Sigma F_x = 0, \quad -F_{5x} - F_{9x} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0, \quad -F_{8y} - F_{5y} - F_{9y} = 0$$

$$\Sigma M_9 = 0, \quad F_{8y} \cdot L_H + F_{5y} \cdot L_p - F_{5x} \cdot b = 0$$

5 Výpočet jednotlivých sil v čepích

Je potřeba sestavit příslušné rovnice, které budou sloužit k vytvoření matice z které budou dopočítány síly působící v uložení čepů ramen.

5.1 Rovnice pro sestavení matice

Matice slouží k výpočtu jednotlivých sil.

$$F_{1Y} + F_{2Y} = \frac{F_n + F_{pl} + F_z}{2} \quad (4.9)$$

$$F_{2X} = 0 \quad (4.10)$$

$$F_{2Y} \cdot L_H = F_n \cdot \frac{L_H}{2} + (F_{pl} + F_z) \cdot L_z \quad (4.11)$$

$$-F_{2Y} - F_{3Y} + F_{4Y} = 0 \quad (4.12)$$

$$-F_{2X} - F_{3X} + F_{4X} = 0 \quad (4.13)$$

$$F_{2X} \cdot H_L + F_{3X} \cdot \frac{H_L}{2} - F_{2Y} \cdot L_H - F_{3Y} \cdot \frac{L_H}{2} = 0$$

$$F_{3X} + F_5 \cdot \cos \beta + F_{6X} = 0 \quad (4.15)$$

$$-F_{1Y} + F_{3Y} + F_5 \cdot \sin \beta + F_{6Y} = 0 \quad (4.16)$$

$$F_{1Y} \cdot L_H - F_{3Y} \cdot \frac{L_H}{2} - F_{3X} \cdot \frac{H_L}{2} - F_5 \cdot a \cdot (\cos \alpha \cdot \sin \beta + \sin \alpha \cdot \cos \beta) = 0 \quad (4.17)$$

$$-F_{4X} + F_{7X} + F_{9X} = 0 \quad (4.18)$$

$$-F_{4Y} - F_{7Y} + F_{9Y} = 0 \quad (4.19)$$

$$F_{4Y} \cdot L_H + F_{7Y} \cdot \frac{L_H}{2} + F_{4X} \cdot H_L - F_{7X} \cdot \frac{H_L}{2} = 0 \quad (4.20)$$

$$-F_{6X} + F_{7Y} + F_{8Y} = 0 \quad (4.21)$$

$$-F_{6Y} + F_{7Y} + F_{8Y} = 0 \quad (4.22)$$

$$-F_{8Y} \cdot L_H - F_{7Y} \cdot \frac{L_H}{2} - F_{7X} \cdot \frac{H_L}{2} = 0 \quad (4.23)$$

5.2 Sestavení matice

Sestavení matice A, determinantu a inverzní matice A^{-1} je pro větší přehlednost v příloze B. Výsledky matice pro všechny příslušné úhly se nachází v příloze A, Tab. A 2 až Tab. A 7.

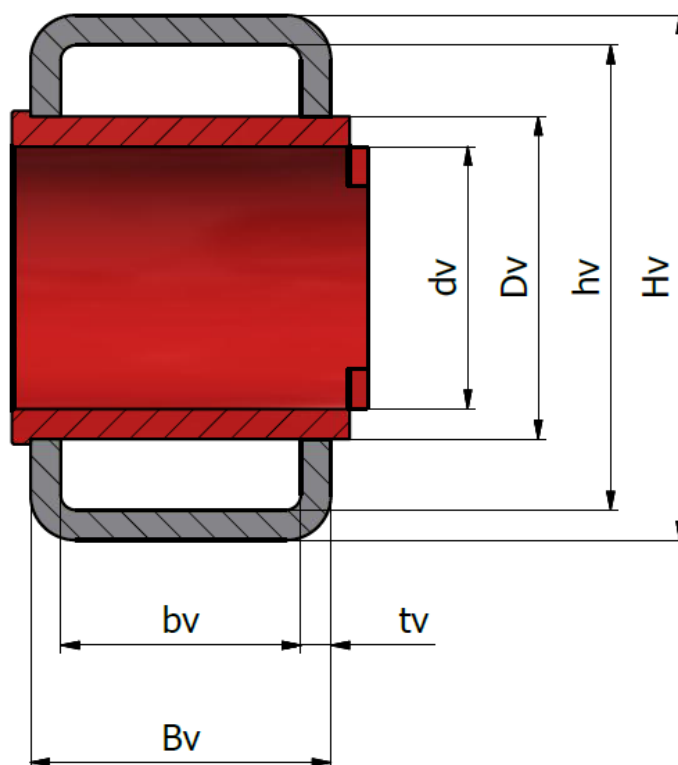
6 Kontrola ramen nůžkového mechanismu.

Na ramena nůžkového mechanismu působí tečné a normálové síly. Výpočty tečných a normálových sil jsou v tabulce (viz příloha – Tab. A 1) pro minimální a maximální úhel nůžek.

Jednotlivá ramena nůžkového mechanismu jsou složeny z tenkostěnných obdélníkových profilů z oceli S355JOC (11 523), které dodává firma Feron. Jedná se o profil TR OBD 140 x 80 x8 - 1710 čsn en 10 219-2. Jednotlivé díry pro čepy jsou vyplněny pro zpevnění kruhovou trubkou. TR 86x8 - 100 a TR a TR 72x6 - 100.



Obr. 6. 1 – Rameno s výztuhami



Obr. 6.2 – Řez ramene v místě čepu

Tab. 6 Příslušné rozměry obr. 6.2

H _v [mm]	h _v [mm]	B _v [mm]	b _v [mm]	t _v [mm]	D _v [mm]	d _v [mm]
140	124	80	64	8	86	70

6.1 Kontrola na vzpěr

Výpočet provádím pouze pro nejvíce zatěžované rameno (1,3,5,6).

Kvadratický moment minimálního průřezu:

$$J_Y = \frac{B_V^3 \cdot H_V - b_V^3 \cdot h_V}{12} = \frac{80^3 \cdot 140 - 64^3 \cdot 124}{12} = 3\,264\,512 \text{ mm}^4 \quad (6.1)$$

$$J_X = \frac{B_V \cdot H_V^3 - b_V \cdot h_V^3}{12} = \frac{80 \cdot 140^3 - 64 \cdot 124^3}{12} = 8\,124\,672 \text{ mm}^4 \quad (6.2)$$

Plocha průřezu:

$$S_V = B_V \cdot H_V - b_V \cdot h_V = 80 \cdot 140 - 64 \cdot 124 = 3\,264 \text{ mm}^2 \quad (6.3)$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i_V = \sqrt{\frac{J_{min}}{S_V}} = \sqrt{\frac{J_Y}{S_V}} = \sqrt{\frac{3\,264\,512}{3264}} = 31.63 \text{ mm} \quad (6.4)$$

Štíhlost tyče:

$$\lambda_V = \frac{L_{\check{c}}}{i_V} = \frac{920}{31.63} = 29.09 \quad (6.5)$$

Mezní štíhlost tyče:

$$\lambda_{KR V} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{Re \cdot 0.5}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^5}{355 \cdot 0.5}} = 108.05 \quad (6.6)$$

Re – mez kluzu pro S355JOC (11 523)

Re = 355 MPa

$\lambda_V < \lambda_{KR V}$

Je nutno provést výpočet podle Tetmajera. $a_m = 335 \text{ MPa}$, $b_m = 0.62 \text{ MPa}$

Kritické napětí

$$G_{KR} = a_m - b_m \cdot \lambda_V = 335 - 0.62 \cdot 29.09 = 317 \text{ MPa} \quad (6.7)$$

$G_{KR} \leq Re$

$317 < 355 \Rightarrow$ vzpěr vyhovuje

Podmínka vzpěru dle Tetmajera:

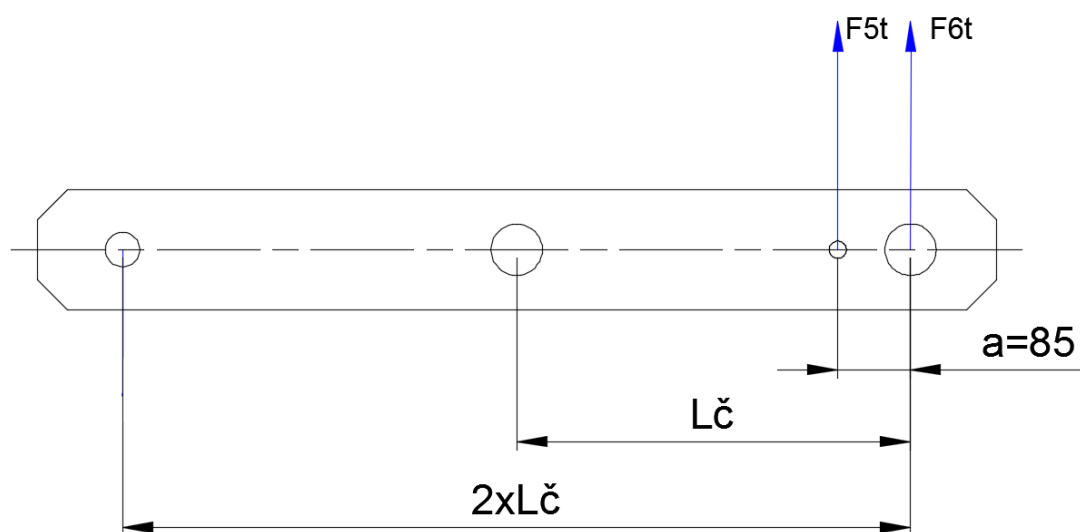
Podmínku řeším pro nejmenší úhel $\alpha_{min} = 9,55^\circ$, při kterém působí dle Tab. A 3 největší síly.

$$\sigma = \frac{F_{Nmax}}{S_V} = \frac{|F_{6N'}|}{S_V} = \frac{100688}{3264} = 30.85 \text{ MPa} \quad (6.10)$$

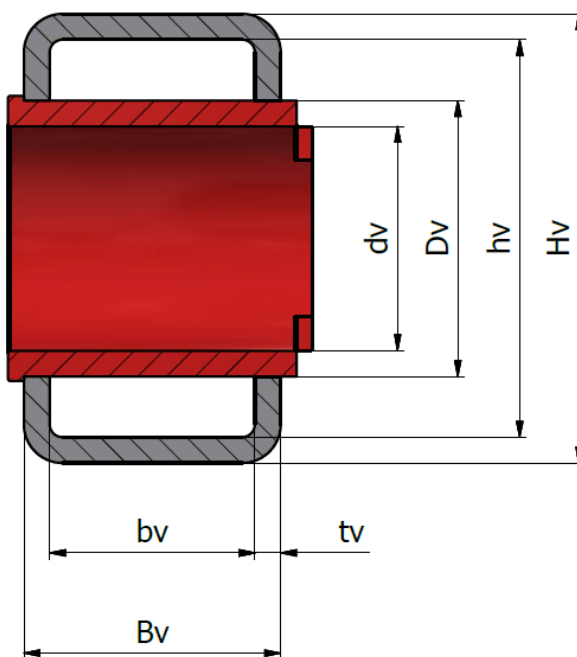
Statická bezpečnost:

$$K = \frac{G_{KR}}{\sigma} = \frac{317}{30,85} = 10,28 \Rightarrow \text{dostatečný součinitel bezpečnosti} \quad (6.11)$$

6.2 Kontrola ramene na ohyb



Obr. 6.3 – Tečné síly působící ohyb ramene



Obr. 6. 4 – ramene v místě čepu

Výpočet modulu pružnosti:

Síly, které se snaží ohnout rameno, působí v ose Y, proto stačí spočítat pouze W_{ox} .

$$W_{ox} = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} = \frac{B_V \cdot (H_V^3 - D_V^3) - b_V \cdot (h_V^3 - d_V^3)}{6 \cdot H_V} \\ = \frac{80 \cdot (140^3 - 86^3) - 64 \cdot (124^3 - 86^3)}{6 \cdot 140} = 103\,951,4 \text{ mm}^3 \quad (6.12)$$

Ohybový moment z maximální tečné síly při úhlu α_{max} . Pro rameno 1,3,5,6, kde sice nepůsobí maximální tečná síla v jednom bodě, avšak působí zde v bodě 5 a 6 tečné síly ve stejném směru, které po výpočtu ohybového momentu musím porovnat s ramenem 6, 7, 8, ve kterém v bodě 7 působí $F_{7T'}$ maximální (29629,67 N).

$$M_{omax.} = |F_{6T}| \cdot L_{\check{c}} + |F_{5T}| \cdot (L_{\check{c}} - a) = 20457 \cdot 460 + 24849,67 \cdot (460 - 85) = \\ 18\,728\,846,25 \text{ Nmm} \quad (6.13)$$

Kontrola ohybového momentu v rameni 6,7,8

$$M_o = |F_{7T'}| \cdot L_{\check{c}} = 29629,67 \cdot 460 = 13\,629\,648,2 \text{ Nmm} \quad (6.14)$$

Z výsledků je patrné, že největší ohybový moment nám působí v rameni 1,3,5,7.

$$\sigma_o = \frac{M_{omax.}}{W_o} = \frac{18\,728\,846,25}{103\,951,4} = 180,17 \text{ MPa} \quad (6.15)$$

$$Re = 355 \text{ MPa} \quad (6.16)$$

$$k_s = \frac{355}{180,17} = 1,97 \quad (6.17)$$

Bezpečnost v ohybu pro zvedání 2000kg je zcela dostačující.

6.3 Kontrola ramene na smyk

$$S_t = B_V \cdot (H_V - D_V) - b_V \cdot (h_V - d_V) = 80 \cdot (140 - 86) - 64 \cdot (124 - 70) = \\ 1888 \text{ mm}^2 \quad (6.18)$$

$$\tau = \frac{F_{7T'}}{S_t} = \frac{29629,67}{1888} = 15,69 \text{ MPa} \quad (6.19)$$

$$\tau_D = 0,577 \cdot Re = 0,577 \cdot 355 = 204,835 \text{ MPa} \quad (6.20)$$

$$k_s = \frac{\tau_D}{\tau} = \frac{204,83}{15,69} = 13,05 \quad (6.21)$$

Součinitel bezpečnosti pro smyk je zcela dostatečný.

Výsledné redukované napětí:

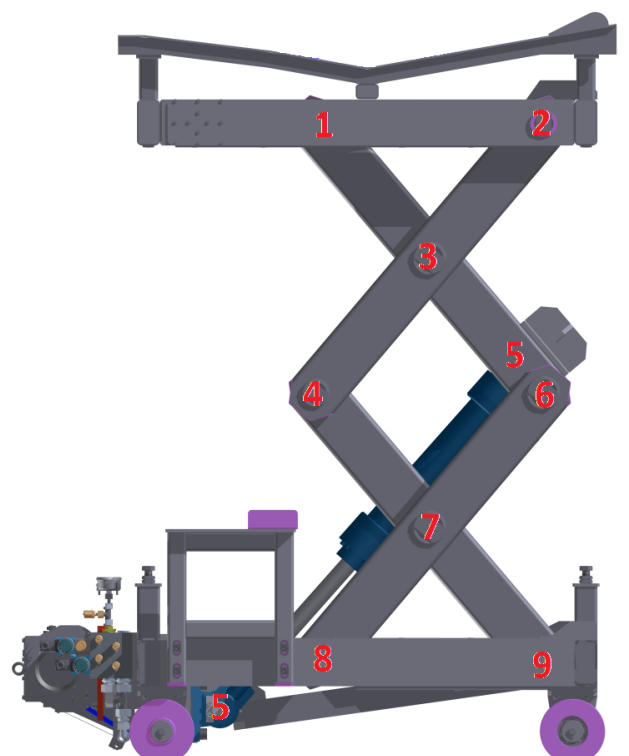
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{180,17^2 + 4 \cdot 15,69^2} = 182,88 \text{ MPa} \quad (6.22)$$

Statická bezpečnost:

$$k = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{355}{182,88} = 1,94 \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (6.23)$$

7 Kontrola čepů:

Čepy nůžkového mechanismu jsou znázorněny v následujícím obrázku obr. XX. Nepočítám všechny čepy z důvodu, že některé jsou shodné a budu tedy výpočet provádět jen pro největší sílu. Jedná se o čepy 2,9, dále 3,6,7.



Obr. 7.1 – Pozice jednotlivých čepů

7.1 Čep 1

Určení síly působící v čepu:

$$F_1 = F_{1Y} = 10864,6 \text{ N} \quad (7.1)$$

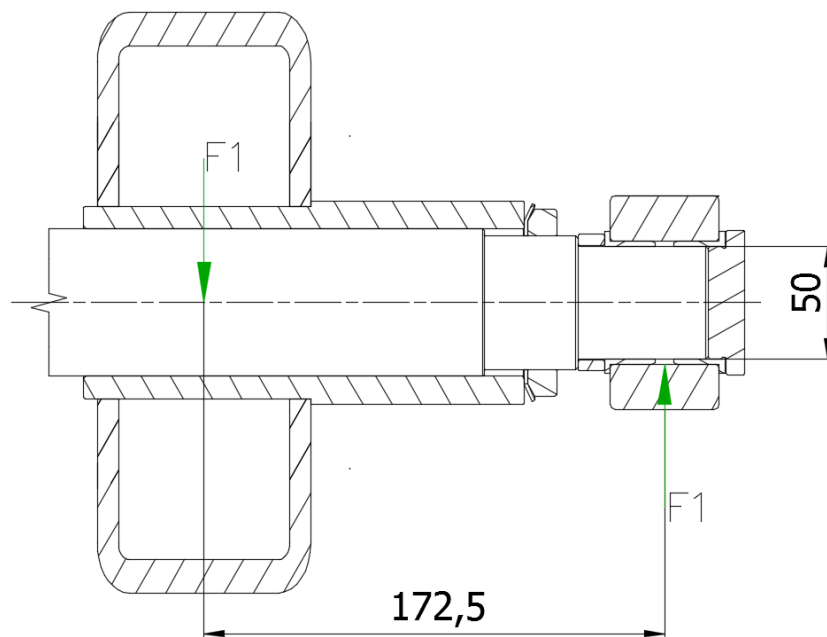
Ohybový moment:

$$M_{o1} = F_1 \cdot 172,5 = 10864,6 \cdot 172,5 = 1874143,5 \text{ N} \quad (7.2)$$

Kontrola průměru čepu:

$$\sigma_{o6} = \frac{M_{o6}}{W_{o6}} \leq \sigma_d \Rightarrow d_{\check{c}6} = \sqrt[3]{\frac{M_{o6} \cdot 32}{\pi \cdot Re}} = \sqrt[3]{\frac{1874143,5 \cdot 32}{\pi \cdot 590}} = 31,86 \text{ mm} \quad (7.3)$$

Vyhovuje $31,86 < 50$



Obr. 7.2 – Uložení čepu číslo 1

7.2 Čep 2 a 9:

V čepu č. 9 působí větší axiální i radiální síla, proto kontroluji čep pro tuto sílu.

Materiál 14 220.4 dle ST Re min= 590 MPa

Materiál 14 220 je vhodný pro použití jako čep dle svých vlastností (zakalit) dobré vlastnosti na opotřebení.... Upravit a přepsat text.

$$F_9 = \sqrt{F_{9X}^2 + F_{9Y}^2} = \sqrt{49438^2 + 1587^2} = 49\,463,47 \text{ N} \quad (7.4)$$

Mo max pro sílu F₉:

$$M_{o9} = \frac{F_9}{2} \cdot 70 = \frac{49463,47}{2} \cdot 70 = 1\,731\,221,45 \text{ Nmm} \quad (7.5)$$

Průměr čepu:

$$\sigma_{o9} = \frac{M_{o9}}{W_{o9}} \leq \sigma_d \Rightarrow d_{\check{c}9} = \sqrt[3]{\frac{M_{o9} \cdot 32}{\pi \cdot Re}} = \sqrt[3]{\frac{1731221,45 \cdot 32}{\pi \cdot 590}} = 31,03 \text{ mm} \quad (7.6)$$

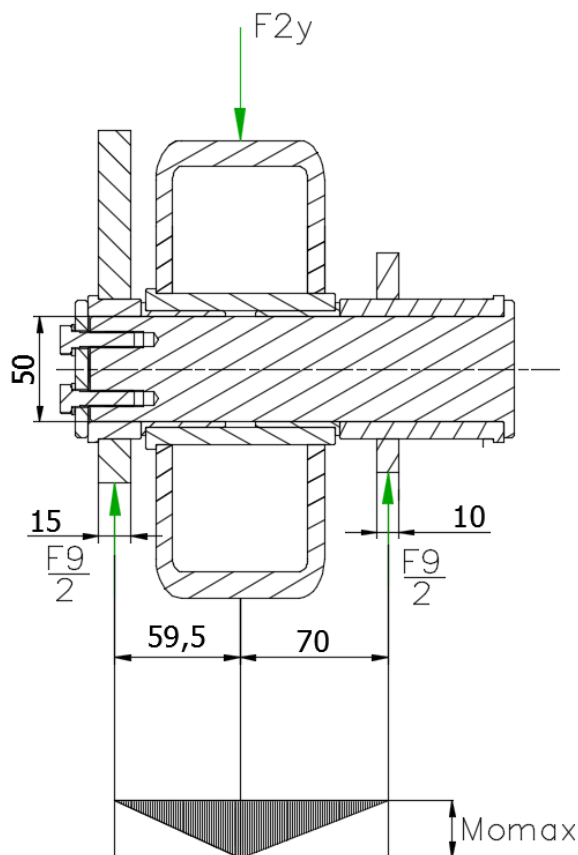
Vyhovuje $31,03 < 50$

Kontrola otláčení:

$$p < p_d$$

$$p = \frac{F_9}{S} = \frac{49463,47}{d_{\check{c}9} \cdot 15 \cdot 10} = \frac{49463,47}{50 \cdot 15 \cdot 10} = 6,6 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

Vyhovuje.



Obr. 7.3 – Uložení čepu č. 9

7.3 Čep 3,6,7

Volím kontrolu čepu č. 6, kde působí největší síly.

Určení síly působící v čepu:

$$F_6 = \sqrt{F_{6X}^2 + F_{6Y}^2} = \sqrt{100437^2 + 9904^2} = 100924,13 \text{ N} \quad (7.10)$$

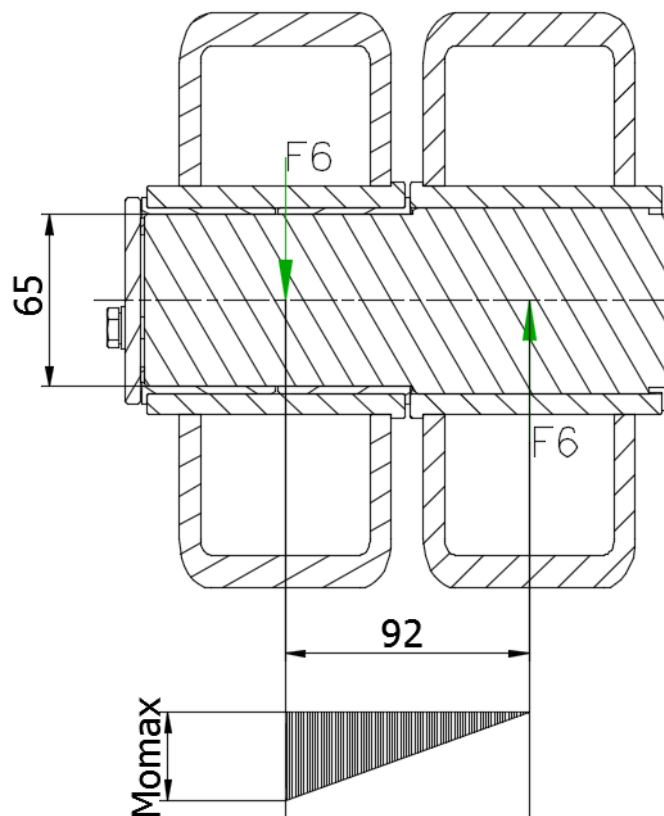
Ohybový moment:

$$M_{o6} = F_6 \cdot 92 = 100924,13 \cdot 92 = 9285019,96 \text{ N} \quad (7.11)$$

Kontrola průměru čepu:

$$\sigma_{o6} = \frac{M_{o6}}{W_{o6}} \leq \sigma_d \Rightarrow d_{\check{c}6} = \sqrt[3]{\frac{M_{o6} \cdot 32}{\pi \cdot Re}} = \sqrt[3]{\frac{9285019,96 \cdot 32}{\pi \cdot 590}} = 54,32 \text{ mm} \quad (7.12)$$

Vyhovuje.



Obr. 7.4 – Uložení čepu č. 6

7.4 Čep 4

Určení síly působící v čepu:

$$F_4 = \sqrt{F_{4X}^2 + F_{4Y}^2} = \sqrt{50999^2 + 1324^2} = 51\,016,18\,N \quad (7.13)$$

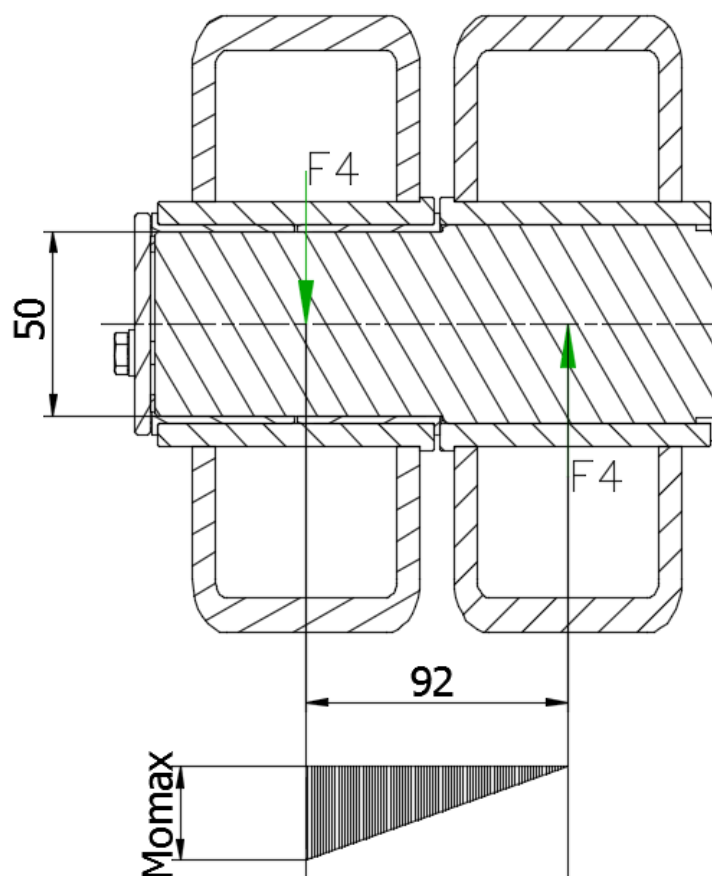
Ohybový moment:

$$M_{o4} = F_4 \cdot 92 = 51\,016,18 \cdot 92 = 4\,693\,488,56\,N \quad (7.14)$$

Kontrola průměru čepu:

$$\sigma_{o4} = \frac{M_{o4}}{W_{o4}} \leq \sigma_d \Rightarrow d_{\check{c}4} = \sqrt[3]{\frac{M_{o4} \cdot 32}{\pi \cdot Re}} = \sqrt[3]{\frac{4\,693\,488,56 \cdot 32}{\pi \cdot 590}} = 43,27\,mm \quad (7.15)$$

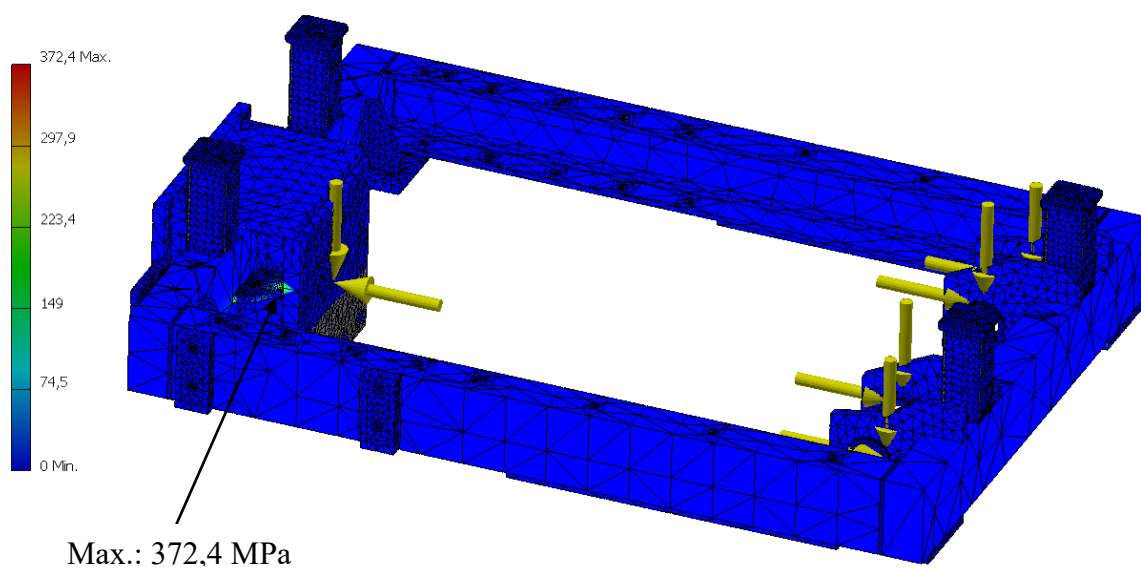
Vyhovuje



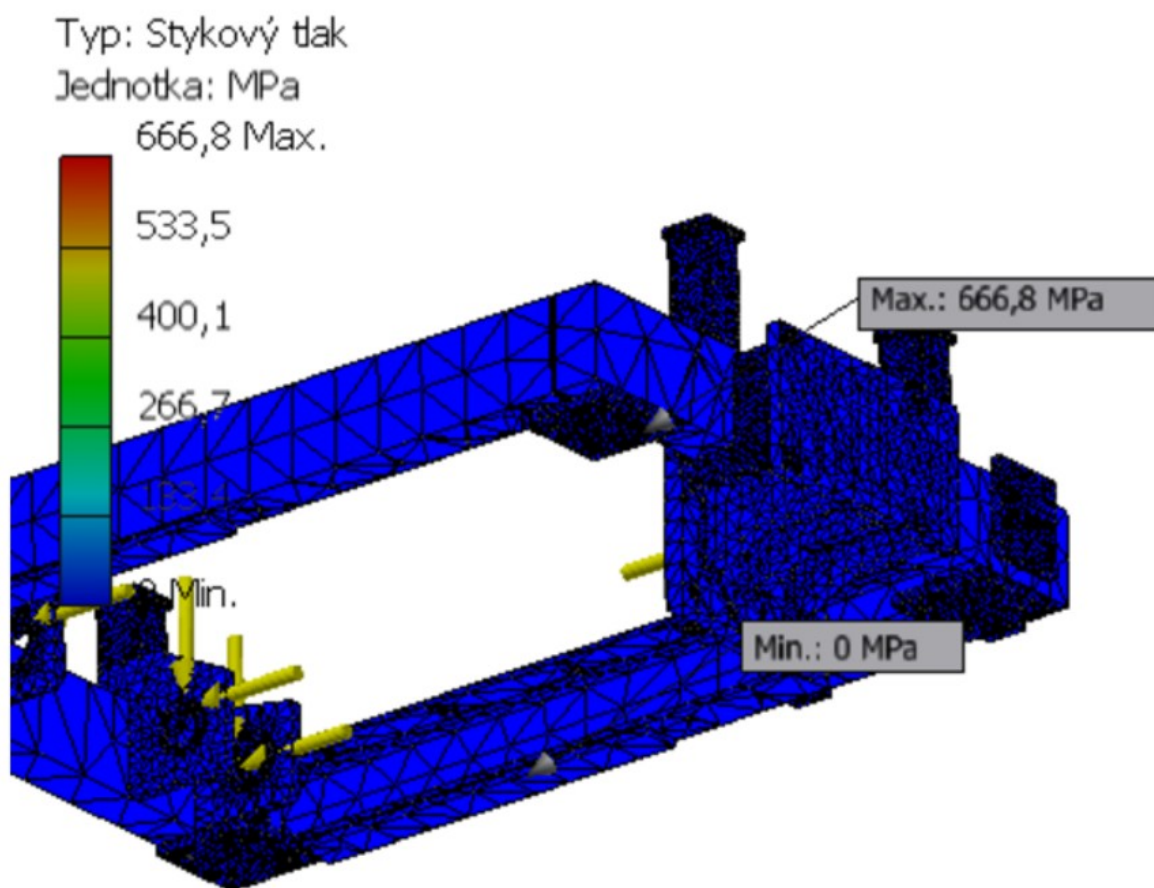
Obr. 7.5 – Uložení čepu č. 4

8 Spodní rám

Kontrola spodního rámu je provedena metodou MKP.



Obr. 7.6 Maximální napětí spodního rámu



Obr. 7.7 Maximální stykový tlak spodního rámu

Z výsledků je patrné, že spodní rám má vysoké špičky. Bude potřeba provést konstrukční úpravu spodního rámu, pokud budou zvedána břemena o hmotnosti 2000kg. Jedná se o stranu kde je i uchycení pohonu. Nabízí se jiná volba uchycení, použití jiného materiálu, nebo vyztužení konstrukce. Materiál 11 523, kde R_m je 680MPa. Nedoporučuji.

9 Návrh pohonu zvedáku

Elektromotor a převodovka, viz obrázek 8.1.

9.1 Volba elektromotoru a převodovky.

Odpory při jízdě zvedáku působí proti pohybu zvedáku. Tyto odpory musí zvedák při zrychlování překonat.

Síla odporu valení:

$$F_v = m_C \cdot g \cdot \cos \alpha_S \cdot \xi = 3155 \cdot 9,81 \cdot \cos 0 \cdot 0,01 = 309,5 \text{ N} \quad (7.16)$$

m_C – celková hmotnost zvedací plošiny, $m_C = m_b + m_z = 3155 \text{ kg}$ dle sestavného výkresu

m_b - hmotnost břemene, $m_b = 2000 \text{ kg}$ dle zadání BP

m_z - hmotnost zvedáku dle sestavného výkresu $m_z = 1155 \text{ kg}$

α_s – max. úhel stoupání vozovky, tento úhel vzhledem k provozu po rovné ploše, mohu zanedbat.

ξ – součinitel odporu valení, pro kolo na kolejnici $\xi = 0,0004 - 0,0005$, volím $\xi = 0,01$

Odpor zrychlení:

$$F_z = m \cdot a = 3155 \cdot 0,3 = 946,5 \text{ N} \quad (7.17)$$

$$F_c = F_v + F_z = 309,5 + 946,5 = 1256 \text{ N} \quad (7.18)$$

Potřebný krouticí moment:

$$M_k = F_c \cdot \frac{r}{2} = 1256 \cdot \frac{140}{2} = 87,92 \text{ Nm} \quad (7.19)$$

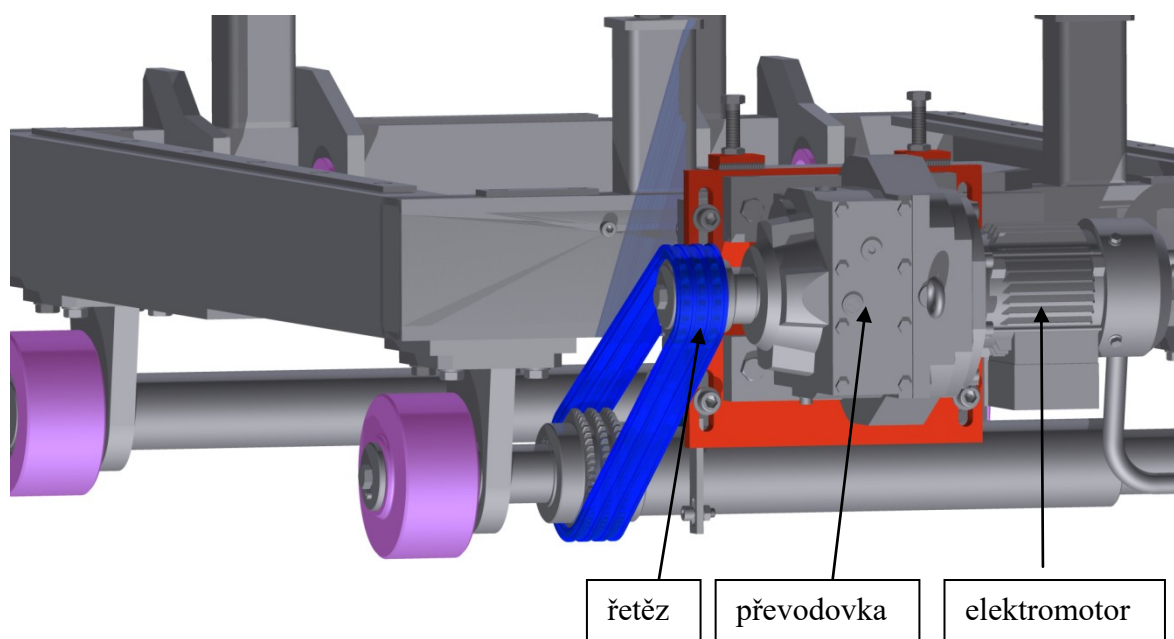
Elektromotor s převodovkou:

Byl zvolen elektromotor s převodovkou od firmy Siemens s označením D. 59-LA63MF4, který bude dostatečný pro pohon zvedáku.

P_{rated}	n_2	T_2	i_{tot}	F_{R2}	f_B	m
kW	rpm	Nm	-	N	-	kg
0.18	D.59-LA63MF4					
	8	215	169.48	8 040	2.1	21

Přenos mezi převodovkou a hřídeli poháněných kol:

Přenos mezi převodovkou a poháněnými koly je realizován pomocí řetězového převodu s dodatečným převodovým poměrem $i=1,36$, $z_1=19$ a $z_2=26$ zubů.



Obr. 8.1– Uložení elektromotoru

Rychlost pojezdu:

$$v = n_3 \cdot O \quad (7.20)$$

$$O = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot 70 = 439,82 \text{ mm} \quad (7.21)$$

$$n_3 = \frac{n_2}{i} = \frac{8}{1,36} = 5,88 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (7.22)$$

$$v = n_3 \cdot O = 5,88 \cdot 439,82 = 2586,14 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} = 2,586 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (7.23)$$

10 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zkontrolování nůžkového zvedáku, zda vyhoví zadaným požadavkům. V úvodní části je popis konstrukce a přehled jejich využití v praxi.

Během výpočtové části jsem zjistil, že konstrukce splňuje požadavek zvedání břemene o hmotnosti 2000kg. Splňuje také požadovaný zdvih pro minimální návin o průměru 100 mm do osově výšky 1883mm a maximálního návinu průměru 2000mm do osově výšky 1900 viz. sestavný výkres. Kontrolována byla síla v pístu potřebná ke zdvižení, čepy a ramena nůžkového mechanismu. Celý zvedák je pojízdný po rovných kolejničích, díky čemuž nebylo třeba řešit zatáčení kol.

Celý zvedák je poháněn elektromotorem, který jsem navrhoval. Požadavek na rychlost posuvu nebyl stanoven. Zvolil jsem proto elektromotor s převodovkou od firmy Siemens. Spojení hřídele kol a převodovky je realizováno pomocí řetězu. Výsledná rychlost je 2,58 m/s.

Nůžkový zvedák je složen ze dvou nad sebou složených mechanismů, přičemž každý z nich obsahuje čtyři ramena. Ramena jsou navzájem spojeny pomocí čepů. Z jedné strany jsou zajištěny proti otáčení drážkou. Druhá strana je opatřena dvojicí šroubů a zajišťuje tak ramena ve správném uložení.

Závěrem práce mohu prohlásit, že byl zkontrolován nůžkový zvedák pro zvedání břemen 2000kg. Byly kontrolovány ramena, čepy a spodní rám. Ramena i čepy jsou dostatečné a vyhovují zadání. Spodní rám zvedáku má poměrně vysoké špičky. Pro zvedání kontrolovaných břemen bude třeba provést jeho úpravu a nový MKP výpočet.

11 Zdroje

- [1] Motl, Miroslav. Autodoplňky-CZ.com [Online]. Praha: Autodoplňky-cz.com, 2001 [Citace: 1. 5 2016]. Dostupné z: <http://www.autodoplňky-cz.com/zbozi/produkt-4791/hever-nuzkovy-do-1500-kg-pro-snizena-auta.html>
- [2] Chudoba, Ján. Poptákový formulář. Techlan.cz. [Online]. Olomouc: Techlab Chudoba s. r. o., 2016 [Citace: 1. 5 2016]. Dostupné z: <http://www.techlan.cz/index.php?oid=3218327>
- [3] Boels Česká republika. Nůžková pracovní plošina do těžkého terénu 14,5m skyjack sj8841rt [Online]. Boels Rental, 2016 [Citace: 1. 5 2016]. Dostupné z: <https://www.boels.cz/pronajem/vysokozdvizne-pracovni-plosiny/nuzkove-pracovni-plosiny-naftove/nuzkova-pracovni-plosina-do-tezkeho-terenu-145-m-skyjack-sj8841rt>
- [4] Holub, Martin. Nůžkové zvedací plošiny. Liftex.cz [Online]. IziArt. Ostrava: Liftex pro, 2011 [Citace: 1. 5. 2016]. Dostupné z: <http://www.liftex.cz/reference/nuzkove-zvedaci-plosiny/>
- [5] Liftcomp a.s. Produkty. Liftcomp.cz. [Online]. Ostrava: Liftcomp a.s., 2016 [Citace: 1. 5 2016]. Dostupné z: <http://www.liftcomp.cz/produkty/plosiny/nuzkove-zdvihaci-plosiny>
- [6] Univer. Katalog produktů. Univer.cz [Online]. [Citace: 1. 5 2016] Dostupné z: <http://www.univer.cz/nizkozdvizny-nuzkovy-zvedak-537c-id363>
- [7] Rybáček, Miroslav. O nás. Zvedaci-nuzkove-stoly.cz [Online]. Louny: 2014 [Citace: 1. 5 2016]. Dostupné z: <http://www.zvedaci-nuzkove-stoly.cz/o-nas>
- [8] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [9] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard Gordon BUDYNAS, HARTL, Martin a Miloš VLK (eds.). *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIU, 2010 [Citace:]. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [10] FERONA. Sortimentní katalog. *Ferona.cz* [online]. © 2004 - 2012 [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=22984>
- [11] EUROLIFT. Zvedací plošiny. *Eurolift.cz* [online]. © 2011 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <http://eurolift.cz>
- [12] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [13] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky I pro školu a praxi*. Scientia Praha, 2004. ISBN 80-7183-312-6.

- [14] KŘÍŽ, Rudolf a Josef TRČKA. *Tabulky materiálů pro strojírenství*. I. [část], Kovové materiály – železné kovy. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-85780-92-5.
- [15] MYNÁŘ, Vladimír. *Části strojů: osy a nápravy, hřídele, čepy, valivá ložiska, kluzná ložiska, spojky a brzdy, základní mechanizmy, potrubí a armatury*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1979.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Ivaně Kunzové, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a odborné vedení mé práce. Dále bych rád poděkoval firmě DMA Environmental Systems, spol. s r.o. za poskytnutí podkladů a pomoc při zpracování mé práce.

Přílohy

Příloha A: Výsledné síly působící v čepech pro jednotlivé úhly

Příloha B: Sestavená matice A, determinant a inverzní matice A^{-1}

Sestavní výkres nůžkového zvedáku kolejnic

VAS0117

Výrobní výkres ramene

VAS0117-01.1

Bakalářská práce včetně příloh a výkresové dokumentace je uložena na CD.

Příloha A

Tab. A 1 – Délky, výšky a síly pro jednotlivé úhly naklopení

		Úhel	Úhel naklopení	Délky		Výšky	
alfa	beta	beta	alfa	2 Lč	LH	HL	Hcelk.
[rad]	[rad]	[°]	[°]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0,166679	0,380133	21,78	9,55	920	907,2498992	152,6356	
0,174533	0,391486	22,43049	10	920	906,0231328	159,7563	
0,191986	0,402839	23,08098	11	920	903,0970088	175,5443	
0,20944	0,414192	23,73146	12	920	899,8957927	191,2788	
0,226893	0,425545	24,38195	13	920	896,4204596	206,955	
0,244346	0,436898	25,03244	14	920	892,6720682	222,5681	
0,261799	0,448252	25,68293	15	920	888,6517602	238,1135	
0,279253	0,459605	26,33341	16	920	884,3607603	253,5864	
0,296706	0,470958	26,9839	17	920	879,8003755	268,982	
0,314159	0,482311	27,63439	18	920	874,971995	284,2956	
0,331613	0,493664	28,28488	19	920	869,8770896	299,5227	
0,349066	0,505017	28,93537	20	920	864,5172111	314,6585	
0,366519	0,516371	29,58585	21	920	858,8939924	329,6985	
0,383972	0,527724	30,23634	22	920	853,0091462	344,6381	
0,401426	0,539077	30,88683	23	920	846,8644652	359,4726	
0,418879	0,55043	31,53732	24	920	840,461821	374,1977	
0,436332	0,561783	32,1878	25	920	833,8031641	388,8088	
0,453786	0,573136	32,83829	26	920	826,8905226	403,3015	
0,471239	0,584489	33,48878	27	920	819,7260023	417,6713	
0,488692	0,595843	34,13927	28	920	812,3117854	431,9138	
0,506145	0,607196	34,78976	29	920	804,6501306	446,0249	
0,523599	0,618549	35,44024	30	920	796,7433715	460	
0,541052	0,629902	36,09073	31	920	788,5939166	473,835	
0,558505	0,641255	36,74122	32	920	780,2042485	487,5257	
0,575959	0,652608	37,39171	33	920	771,5769225	501,0679	
0,593412	0,663962	38,0422	34	920	762,7145668	514,4575	
0,610865	0,675315	38,69268	35	920	753,6198807	527,6903	
0,628319	0,686668	39,34317	36	920	744,2956348	540,7624	
0,645772	0,698021	39,99366	37	920	734,7446692	553,6698	
0,663225	0,709374	40,64415	38	920	724,9698933	566,4086	
0,680678	0,720727	41,29463	39	920	714,9742845	578,9748	
0,698132	0,73208	41,94512	40	920	704,7608877	591,3646	
0,715585	0,743434	42,59561	41	920	694,3328138	603,5743	
0,733038	0,754787	43,2461	42	920	683,6932394	615,6002	
0,750492	0,76614	43,89659	43	920	672,8454055	627,4385	
0,767945	0,777493	44,54707	44	920	661,7926163	639,0857	
0,785398	0,788846	45,19756	45	920	650,5382387	650,5382	
0,802851	0,800199	45,84805	46	920	639,0857008	661,7926	
0,820305	0,811553	46,49854	47	920	627,4384913	672,8454	
0,837758	0,822906	47,14902	48	920	615,6001579	683,6932	
0,855211	0,834259	47,79951	49	920	603,5743067	694,3328	
0,868999	0,845612	48,45	49,79	920	593,9437066	702,5887	

Tab. A 2 – Síly pro příslušný úhel naklonění

Síly							
F1y	F2x	F2y	POČET	F3x	F3y	F4x	F4y
[N]	[N]	[N]		[N]	[N]	[N]	[N]
7255,79	0,00	3917,80	1,00	50999,03	-5931,52	50999,03	1324,28
7265,06	0,00	3908,53	2,00	49912,21	-6131,04	49912,21	1212,78
7287,25	0,00	3886,34	3,00	48825,39	-6330,56	48825,39	1101,27
7311,70	0,00	3861,89	4,00	47738,57	-6530,08	47738,57	989,77
7338,44	0,00	3835,15	5,00	46651,75	-6729,60	46651,75	878,27
7367,52	0,00	3806,07	6,00	45564,93	-6929,12	45564,93	766,77
7398,97	0,00	3774,62	7,00	44478,11	-7128,64	44478,11	655,27
7432,86	0,00	3740,73	8,00	43391,29	-7328,16	43391,29	543,77
7469,24	0,00	3704,35	9,00	42304,47	-7527,68	42304,47	432,27
7508,17	0,00	3665,42	10,00	41217,65	-7727,20	41217,65	320,76
7549,72	0,00	3623,87	11,00	40130,83	-7926,73	40130,83	209,26
7593,96	0,00	3579,63	12,00	39044,01	-8126,25	39044,01	97,76
7640,96	0,00	3532,63	13,00	37957,19	-8325,77	37957,19	-13,74
7690,82	0,00	3482,77	14,00	36870,37	-8525,29	36870,37	-125,24
7743,61	0,00	3429,98	15,00	35783,55	-8724,81	35783,55	-236,74
7799,44	0,00	3374,15	16,00	34696,73	-8924,33	34696,73	-348,24
7858,42	0,00	3315,17	17,00	33609,91	-9123,85	33609,91	-459,74
7920,65	0,00	3252,94	18,00	32523,09	-9323,37	32523,09	-571,25
7986,26	0,00	3187,33	19,00	31436,27	-9522,89	31436,27	-682,75
8055,36	0,00	3118,23	20,00	30349,45	-9722,41	30349,45	-794,25
8128,12	0,00	3045,47	21,00	29262,63	-9921,93	29262,63	-905,75
8204,67	0,00	2968,92	22,00	28175,81	-10121,46	28175,81	-1017,25
8285,17	0,00	2888,42	23,00	27088,99	-10320,98	27088,99	-1128,75
8369,81	0,00	2803,78	24,00	26002,17	-10520,50	26002,17	-1240,25
8458,76	0,00	2714,83	25,00	24915,35	-10720,02	24915,35	-1351,75
8552,23	0,00	2621,36	26,00	23828,53	-10919,54	23828,53	-1463,26
8650,44	0,00	2523,15	27,00	22741,71	-11119,06	22741,71	-1574,76
8753,61	0,00	2419,98	28,00	21654,89	-11318,58	21654,89	-1686,26
8862,02	0,00	2311,57	29,00	20568,08	-11518,10	20568,08	-1797,76
8975,91	0,00	2197,68	30,00	19481,26	-11717,62	19481,26	-1909,26
9095,61	0,00	2077,98	31,00	18394,44	-11917,14	18394,44	-2020,76
9221,41	0,00	1952,18	32,00	17307,62	-12116,67	17307,62	-2132,26
9353,68	0,00	1819,91	33,00	16220,80	-12316,19	16220,80	-2243,76
9492,79	0,00	1680,80	34,00	15133,98	-12515,71	15133,98	-2355,27
9639,16	0,00	1534,43	35,00	14047,16	-12715,23	14047,16	-2466,77
9793,22	0,00	1380,37	36,00	12960,34	-12914,75	12960,34	-2578,27
9955,48	0,00	1218,11	37,00	11873,52	-13114,27	11873,52	-2689,77
10126,45	0,00	1047,14	38,00	10786,70	-13313,79	10786,70	-2801,27
10306,74	0,00	866,85	39,00	9699,88	-13513,31	9699,88	-2912,77
10496,97	0,00	676,62	40,00	8613,06	-13712,83	8613,06	-3024,27
10697,86	0,00	475,73	41,00	7526,24	-13912,35	7526,24	-3135,77
10864,60	0,00	308,99	42,00	6439,42	-14111,87	6439,42	-3247,28

Tab. A 3 – Síly pro příslušný úhel naklopení

F5	F6x	F6y	F7x	F7y	F8y	F9x	F9y
[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
53238,09	100436,74	-9904,35	100436,74	-2911,23	-6993,12	-49437,71	-1586,95
52552,01	-98550,32	-9769,36	98550,32	-2387,11	-7382,25	-48638,11	-1174,33
51865,93	-96663,90	-9634,38	96663,90	-1862,99	-7771,39	-47838,51	-761,72
51179,86	-94777,48	-9499,40	94777,48	-1338,87	-8160,53	-47038,91	-349,10
50493,78	-92891,06	-9364,41	92891,06	-814,75	-8549,66	-46239,31	63,52
49807,70	-91004,64	-9229,43	91004,64	-290,63	-8938,80	-45439,70	476,14
49121,62	-89118,21	-9094,45	89118,21	233,49	-9327,94	-44640,10	888,76
48435,54	-87231,79	-8959,47	87231,79	757,61	-9717,07	-43840,50	1301,37
47749,46	-85345,37	-8824,48	85345,37	1281,73	-10106,21	-43040,90	1713,99
47063,39	-83458,95	-8689,50	83458,95	1805,84	-10495,34	-42241,30	2126,61
46377,31	-81572,53	-8554,52	81572,53	2329,96	-10884,48	-41441,70	2539,23
45691,23	-79686,11	-8419,53	79686,11	2854,08	-11273,62	-40642,10	2951,85
45005,15	-77799,69	-8284,55	77799,69	3378,20	-11662,75	-39842,49	3364,46
44319,07	-75913,27	-8149,57	75913,27	3902,32	-12051,89	-39042,89	3777,08
43633,00	-74026,84	-8014,59	74026,84	4426,44	-12441,03	-38243,29	4189,70
42946,92	-72140,42	-7879,60	72140,42	4950,56	-12830,16	-37443,69	4602,32
42260,84	-70254,00	-7744,62	70254,00	5474,68	-13219,30	-36644,09	5014,94
41574,76	-68367,58	-7609,64	68367,58	5998,80	-13608,44	-35844,49	5427,55
40888,68	-66481,16	-7474,65	66481,16	6522,92	-13997,57	-35044,89	5840,17
40202,60	-64594,74	-7339,67	64594,74	7047,04	-14386,71	-34245,28	6252,79
39516,53	-62708,32	-7204,69	62708,32	7571,16	-14775,84	-33445,68	6665,41
38830,45	-60821,90	-7069,71	60821,90	8095,28	-15164,98	-32646,08	7078,03
38144,37	-58935,47	-6934,72	58935,47	8619,39	-15554,12	-31846,48	7490,64
37458,29	-57049,05	-6799,74	57049,05	9143,51	-15943,25	-31046,88	7903,26
36772,21	-55162,63	-6664,76	55162,63	9667,63	-16332,39	-30247,28	8315,88
36086,13	-53276,21	-6529,77	53276,21	10191,75	-16721,53	-29447,68	8728,50
35400,06	-51389,79	-6394,79	51389,79	10715,87	-17110,66	-28648,07	9141,12
34713,98	-49503,37	-6259,81	49503,37	11239,99	-17499,80	-27848,47	9553,73
34027,90	-47616,95	-6124,83	47616,95	11764,11	-17888,94	-27048,87	9966,35
33341,82	-45730,53	-5989,84	45730,53	12288,23	-18278,07	-26249,27	10378,97
32655,74	-43844,10	-5854,86	43844,10	12812,35	-18667,21	-25449,67	10791,59
31969,66	-41957,68	-5719,88	41957,68	13336,47	-19056,35	-24650,07	11204,21
31283,59	-40071,26	-5584,89	40071,26	13860,59	-19445,48	-23850,47	11616,82
30597,51	-38184,84	-5449,91	38184,84	14384,71	-19834,62	-23050,86	12029,44
29911,43	-36298,42	-5314,93	36298,42	14908,83	-20223,75	-22251,26	12442,06
29225,35	-34412,00	-5179,95	34412,00	15432,95	-20612,89	-21451,66	12854,68
28539,27	-32525,58	-5044,96	32525,58	15957,06	-21002,03	-20652,06	13267,30
27853,19	-30639,15	-4909,98	30639,15	16481,18	-21391,16	-19852,46	13679,91
27167,12	-28752,73	-4775,00	28752,73	17005,30	-21780,30	-19052,86	14092,53
26481,04	-26866,31	-4640,01	26866,31	17529,42	-22169,44	-18253,26	14505,15
25794,96	-24979,89	-4505,03	24979,89	18053,54	-22558,57	-17453,65	14917,77
25108,88	-23093,47	-4370,05	23093,47	18577,66	-22947,71	-16654,05	15330,39

Tab. A 4 – Síly pro příslušný úhel naklopení

Síly na horní čepy				1,3,5,6	1,3,5,6	2,3,4
F1T	F1N	F2T	F2N	F3T	F3N	F3T'
[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
7155,24	1203,80	-3863,50	649,99	2611,847	51276,33	14310,47
7151,79	1376,80	-3774,14	639,90	2445,879	50389,94	14303,59
7148,35	1549,81	-3684,77	629,80	2279,912	49503,55	14296,7
7144,91	1722,82	-3595,40	619,70	2113,944	48617,15	14289,82
7141,47	1895,83	-3506,04	609,60	1947,977	47730,76	14282,93
7138,02	2068,83	-3416,67	599,50	1782,009	46844,37	14276,05
7134,58	2241,84	-3327,30	589,41	1616,041	45957,98	14269,16
7131,14	2414,85	-3237,94	579,31	1450,074	45071,58	14262,27
7127,69	2587,86	-3148,57	569,21	1284,106	44185,19	14255,39
7124,25	2760,87	-3059,20	559,11	1118,139	43298,8	14248,5
7120,81	2933,87	-2969,84	549,01	952,1712	42412,41	14241,62
7117,37	3106,88	-2880,47	538,92	786,2037	41526,01	14234,73
7113,92	3279,89	-2791,11	528,82	620,2361	40639,62	14227,85
7110,48	3452,90	-2701,74	518,72	454,2685	39753,23	14220,96
7107,04	3625,90	-2612,37	508,62	288,301	38866,84	14214,08
7103,60	3798,91	-2523,01	498,52	122,3334	37980,44	14207,19
7100,15	3971,92	-2433,64	488,42	-43,6341	37094,05	14200,31
7096,71	4144,93	-2344,27	478,33	-209,602	36207,66	14193,42
7093,27	4317,94	-2254,91	468,23	-375,569	35321,26	14186,54
7089,83	4490,94	-2165,54	458,13	-541,537	34434,87	14179,65
7086,38	4663,95	-2076,17	448,03	-707,504	33548,48	14172,77
7082,94	4836,96	-1986,81	437,93	-873,472	32662,09	14165,88
7079,50	5009,97	-1897,44	427,84	-1039,44	31775,69	14159
7076,06	5182,97	-1808,08	417,74	-1205,41	30889,3	14152,11
7072,61	5355,98	-1718,71	407,64	-1371,37	30002,91	14145,22
7069,17	5528,99	-1629,34	397,54	-1537,34	29116,52	14138,34
7065,73	5702,00	-1539,98	387,44	-1703,31	28230,12	14131,45
7062,28	5875,01	-1450,61	377,35	-1869,28	27343,73	14124,57
7058,84	6048,01	-1361,24	367,25	-2035,24	26457,34	14117,68
7055,40	6221,02	-1271,88	357,15	-2201,21	25570,95	14110,8
7051,96	6394,03	-1182,51	347,05	-2367,18	24684,55	14103,91
7048,51	6567,04	-1093,15	336,95	-2533,15	23798,16	14097,03
7045,07	6740,04	-1003,78	326,85	-2699,12	22911,77	14090,14
7041,63	6913,05	-914,41	316,76	-2865,08	22025,37	14083,26
7038,19	7086,06	-825,05	306,66	-3031,05	21138,98	14076,37
7034,74	7259,07	-735,68	296,56	-3197,02	20252,59	14069,49
7031,30	7432,07	-646,31	286,46	-3362,99	19366,2	14062,6
7027,86	7605,08	-556,95	276,36	-3528,95	18479,8	14055,72
7024,42	7778,09	-467,58	266,27	-3694,92	17593,41	14048,83
7020,97	7951,10	-378,21	256,17	-3860,89	16707,02	14041,95
7017,53	8124,11	-288,85	246,07	-4026,86	15820,63	14035,06
7014,09	8297,11	-199,48	235,97	-4192,82	14934,23	14028,17

Tab. A 5 – Síly pro příslušný úhel naklonění

2,3,4	2,3,4	2,3,4	4,7,9	4,7,9	1,3,5,6	1,3,5,6	1,3,5,6
F3N'	F4T	F4N	F4T'	F4N'	F5T	F5N	F6T
[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
49308,16	7155,236	50511,95	9767,083	50072,54	27682,02	45475,27	-26430,4
47944,06	7151,793	49320,87	9597,673	49013,14	27612,94	44278,35	-26284,7
46579,97	7148,351	48129,78	9428,262	47953,74	27543,86	43081,42	-26139
45215,87	7144,908	46938,69	9258,852	46894,34	27474,78	41884,5	-25993,3
43851,77	7141,465	45747,6	9089,442	45834,94	27405,69	40687,57	-25847,6
42487,68	7138,023	44556,51	8920,032	44775,53	27336,61	39490,65	-25702
41123,58	7134,58	43365,42	8750,622	43716,13	27267,53	38293,73	-25556,3
39759,49	7131,137	42174,34	8581,211	42656,73	27198,45	37096,8	-25410,6
38395,39	7127,695	40983,25	8411,801	41597,33	27129,37	35899,88	-25264,9
37031,29	7124,252	39792,16	8242,391	40537,93	27060,28	34702,96	-25119,2
35667,2	7120,81	38601,07	8072,981	39478,53	26991,2	33506,03	-24973,5
34303,1	7117,367	37409,98	7903,571	38419,13	26922,12	32309,11	-24827,9
32939,01	7113,924	36218,9	7734,16	37359,73	26853,04	31112,18	-24682,2
31574,91	7110,482	35027,81	7564,75	36300,33	26783,96	29915,26	-24536,5
30210,82	7107,039	33836,72	7395,34	35240,93	26714,88	28718,34	-24390,8
28846,72	7103,596	32645,63	7225,93	34181,53	26645,79	27521,41	-24245,1
27482,62	7100,154	31454,54	7056,519	33122,13	26576,71	26324,49	-24099,4
26118,53	7096,711	30263,46	6887,109	32062,73	26507,63	25127,57	-23953,8
24754,43	7093,268	29072,37	6717,699	31003,33	26438,55	23930,64	-23808,1
23390,34	7089,826	27881,28	6548,289	29943,93	26369,47	22733,72	-23662,4
22026,24	7086,383	26690,19	6378,879	28884,53	26300,38	21536,8	-23516,7
20662,14	7082,94	25499,1	6209,468	27825,13	26231,3	20339,87	-23371
19298,05	7079,498	24308,01	6040,058	26765,73	26162,22	19142,95	-23225,3
17933,95	7076,055	23116,93	5870,648	25706,33	26093,14	17946,02	-23079,7
16569,86	7072,612	21925,84	5701,238	24646,93	26024,06	16749,1	-22934
15205,76	7069,17	20734,75	5531,828	23587,53	25954,98	15552,18	-22788,3
13841,66	7065,727	19543,66	5362,417	22528,13	25885,89	14355,25	-22642,6
12477,57	7062,284	18352,57	5193,007	21468,73	25816,81	13158,33	-22496,9
11113,47	7058,842	17161,49	5023,597	20409,33	25747,73	11961,41	-22351,2
9749,377	7055,399	15970,4	4854,187	19349,92	25678,65	10764,48	-22205,6
8385,281	7051,956	14779,31	4684,777	18290,52	25609,57	9567,558	-22059,9
7021,185	7048,514	13588,22	4515,366	17231,12	25540,49	8370,635	-21914,2
5657,089	7045,071	12397,13	4345,956	16171,72	25471,4	7173,711	-21768,5
4292,993	7041,629	11206,04	4176,546	15112,32	25402,32	5976,787	-21622,8
2928,897	7038,186	10014,96	4007,136	14052,92	25333,24	4779,864	-21477,1
1564,801	7034,743	8823,869	3837,725	12993,52	25264,16	3582,94	-21331,5
200,7055	7031,301	7632,78	3668,315	11934,12	25195,08	2386,016	-21185,8
-1163,39	7027,858	6441,692	3498,905	10874,72	25125,99	1189,093	-21040,1
-2527,49	7024,415	5250,604	3329,495	9815,321	25056,91	-7,83112	-20894,4
-3891,58	7020,973	4059,516	3160,085	8755,921	24987,83	-1204,75	-20748,7
-5255,68	7017,53	2868,428	2990,674	7696,52	24918,75	-2401,68	-20603
-6619,77	7014,087	1677,34	2821,264	6637,12	24849,67	-3598,6	-20457,4

Tab. A 6 – Síly pro příslušný úhel naklonění

1,3,5,6	6,7,8	6,7,8	6,7,8	6,7,8	4,7,9	4,7,9	6,7,8
F6N	F6T'	F6N'	F7T	F7N	F7T'	F7N'	F8T
[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
-97401,6	-6896,2	-100688	19534,17	98561,81	13792,4	99527,8059	-6896,2
-95308,2	-7089,34	-98677,2	19195,35	96867,53	14178,68	97117,8957	-7089,34
-93214,8	-7282,48	-96666,5	18856,52	95173,25	14564,95	94707,9854	-7282,48
-91121,4	-7475,61	-94655,7	18517,7	93478,98	14951,23	92298,0752	-7475,61
-89027,9	-7668,75	-92644,9	18178,88	91784,7	15337,5	89888,1649	-7668,75
-86934,5	-7861,89	-90634,1	17840,06	90090,42	15723,77	87478,2546	-7861,89
-84841,1	-8055,02	-88623,4	17501,24	88396,14	16110,05	85068,3444	-8055,02
-82747,7	-8248,16	-86612,6	17162,42	86701,86	16496,32	82658,4341	-8248,16
-80654,3	-8441,3	-84601,8	16823,6	85007,58	16882,6	80248,5239	-8441,3
-78560,9	-8634,44	-82591,1	16484,78	83313,3	17268,87	77838,6136	-8634,44
-76467,5	-8827,57	-80580,3	16145,96	81619,03	17655,15	75428,7034	-8827,57
-74374	-9020,71	-78569,5	15807,14	79924,75	18041,42	73018,7931	-9020,71
-72280,6	-9213,85	-76558,7	15468,32	78230,47	18427,7	70608,8829	-9213,85
-70187,2	-9406,99	-74548	15129,5	76536,19	18813,97	68198,9726	-9406,99
-68093,8	-9600,12	-72537,2	14790,68	74841,91	19200,25	65789,0624	-9600,12
-66000,4	-9793,26	-70526,4	14451,86	73147,63	19586,52	63379,1521	-9793,26
-63907	-9986,4	-68515,6	14113,04	71453,35	19972,8	60969,2419	-9986,4
-61813,6	-10179,5	-66504,9	13774,22	69759,07	20359,07	58559,3316	-10179,5
-59720,1	-10372,7	-64494,1	13435,4	68064,8	20745,35	56149,4214	-10372,7
-57626,7	-10565,8	-62483,3	13096,58	66370,52	21131,62	53739,5111	-10565,8
-55533,3	-10758,9	-60472,5	12757,76	64676,24	21517,9	51329,6008	-10758,9
-53439,9	-10952,1	-58461,8	12418,94	62981,96	21904,17	48919,6906	-10952,1
-51346,5	-11145,2	-56451	12080,12	61287,68	22290,45	46509,7803	-11145,2
-49253,1	-11338,4	-54440,2	11741,3	59593,4	22676,72	44099,8701	-11338,4
-47159,6	-11531,5	-52429,4	11402,48	57899,12	23063	41689,9598	-11531,5
-45066,2	-11724,6	-50418,7	11063,66	56204,85	23449,27	39280,0496	-11724,6
-42972,8	-11917,8	-48407,9	10724,83	54510,57	23835,55	36870,1393	-11917,8
-40879,4	-12110,9	-46397,1	10386,01	52816,29	24221,82	34460,2291	-12110,9
-38786	-12304	-44386,3	10047,19	51122,01	24608,1	32050,3188	-12304
-36692,6	-12497,2	-42375,6	9708,373	49427,73	24994,37	29640,4086	-12497,2
-34599,2	-12690,3	-40364,8	9369,553	47733,45	25380,65	27230,4983	-12690,3
-32505,7	-12883,5	-38354	9030,733	46039,17	25766,92	24820,5881	-12883,5
-30412,3	-13076,6	-36343,2	8691,912	44344,89	26153,2	22410,6778	-13076,6
-28318,9	-13269,7	-34332,5	8353,092	42650,62	26539,47	20000,7676	-13269,7
-26225,5	-13462,9	-32321,7	8014,271	40956,34	26925,75	17590,8573	-13462,9
-24132,1	-13656	-30310,9	7675,451	39262,06	27312,02	15180,947	-13656
-22038,7	-13849,1	-28300,1	7336,631	37567,78	27698,29	12771,0368	-13849,1
-19945,3	-14042,3	-26289,4	6997,81	35873,5	28084,57	10361,1265	-14042,3
-17851,8	-14235,4	-24278,6	6658,99	34179,22	28470,84	7951,21629	-14235,4
-15758,4	-14428,6	-22267,8	6320,169	32484,94	28857,12	5541,30603	-14428,6
-13665	-14621,7	-20257	5981,349	30790,67	29243,39	3131,39578	-14621,7
-11571,6	-14814,8	-18246,3	5642,528	29096,39	29629,67	721,485526	-14814,8

Tab. A 7 – Síly pro příslušný úhel naklopení

6,7,8	4,7,9	4,7,9
F8N	F9T	F9N
[N]	[N]	[N]
-1160,22	-9767,08	-48489,3
-1559,35	-9597,67	-47854,4
-1958,49	-9428,26	-47219,5
-2357,62	-9258,85	-46584,6
-2756,76	-9089,44	-45949,8
-3155,89	-8920,03	-45314,9
-3555,03	-8750,62	-44680
-3954,17	-8581,21	-44045,1
-4353,3	-8411,8	-43410,2
-4752,44	-8242,39	-42775,4
-5151,57	-8072,98	-42140,5
-5550,71	-7903,57	-41505,6
-5949,85	-7734,16	-40870,7
-6348,98	-7564,75	-40235,9
-6748,12	-7395,34	-39601
-7147,25	-7225,93	-38966,1
-7546,39	-7056,52	-38331,2
-7945,52	-6887,11	-37696,3
-8344,66	-6717,7	-37061,5
-8743,8	-6548,29	-36426,6
-9142,93	-6378,88	-35791,7
-9542,07	-6209,47	-35156,8
-9941,2	-6040,06	-34522
-10340,3	-5870,65	-33887,1
-10739,5	-5701,24	-33252,2
-11138,6	-5531,83	-32617,3
-11537,7	-5362,42	-31982,4
-11936,9	-5193,01	-31347,6
-12336	-5023,6	-30712,7
-12735,2	-4854,19	-30077,8
-13134,3	-4684,78	-29442,9
-13533,4	-4515,37	-28808
-13932,6	-4345,96	-28173,2
-14331,7	-4176,55	-27538,3
-14730,8	-4007,14	-26903,4
-15130	-3837,73	-26268,5
-15529,1	-3668,32	-25633,7
-15928,2	-3498,91	-24998,8
-16327,4	-3329,49	-24363,9
-16726,5	-3160,08	-23729
-17125,6	-2990,67	-23094,1
-17524,8	-2821,26	-22459,3

Příloha B

Matice A

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 907,25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 152,63 & -907,25 & 76,32 & -453,62 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0,92 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0,37 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 907,25 & 0 & 0 & -76,32 & -453,62 & 0 & 0 & -44,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 152,63 & 907,25 & 0 & 0 & 0 & -76,32 & 453,62 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -76,32 & -453,62 & -907,25 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11173,59 \\ 0 \\ 658817 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Determinant matice $A = -1,0851 \cdot 10^{13}$

Inverzní matice A^{-1}

Tab. B 1 – Inverzní matice z programu excel

1	1,88E-16	-0,0011	-1,1E-16	7,83E-18	-4,9E-19	-3,7E-17	-1,57E-17	-9,2E-20	0	0	-1,84E-19	-3,1E-17	-1,57E-17	-4,6E-19
3,72E-16	1	7,27E-19	-1E-15	4,66E-17	-1,5E-18	0	-4,19E-16	-1,1E-18	0	0	-3,18E-19	3,58E-17	-4,19E-16	-1,8E-19
0	0	0,001102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,564248	-1	1,95E-18	-0,68982	-0,11606	0,005791	-2,2E-16	-0,689824	-0,00579	0	0	0,00076	-2,2E-16	-0,689824	-0,00076
0,767888	0,16824	-0,0022	-0,11606	-0,01953	-0,00123	-3,7E-17	-0,116056	-0,00097	0	0	0,000128	-2,5E-17	-0,116056	-0,00013
4,564248	1,12E-15	2,91E-18	-0,68982	0,883944	0,005791	-1,9E-16	-0,689824	-0,00579	0	0	0,00076	-1,9E-16	-0,689824	-0,00076
0,767888	0,16824	-0,0011	0,883944	-0,01953	-0,00123	0	-0,116056	-0,00097	0	0	0,000128	0	-0,116056	-0,00013
4,764636	0	1,03E-18	2,382318	0,400801	0,002626	0	2,3823181	-0,00263	0	0	0,002626	0	2,3823181	0,002626
-8,98876	1	-2,9E-18	-1,52243	-0,25613	-0,00823	1	-1,522433	0,00823	0	0	0,001678	2,22E-16	-1,522433	-0,00168
-1,53578	-0,16824	0,001102	-0,76789	-0,12919	0,000256	0	0,2321117	0,001949	0	0	0,000846	0	-0,767888	-0,00085
8,988762	-1	2,91E-18	1,522433	0,256134	0,00823	-1	1,5224334	-0,00823	0	0	0,001678	-1	1,5224334	0,001678
-1,55929	-0,50472	0,002204	-1,27964	-0,21529	0,001896	-0,16824	0,7203574	0,002513	0	0	0,00141	-0,16824	0,7203574	0,000794
0,023509	0,33648	-0,0011	0,511754	0,086097	-0,00164	0,16824	-0,488246	-0,00056	0	0	0,000564	0,16824	-0,488246	-0,00164
-4,42451	1	-9,6E-19	-2,21226	0,62781	-0,00244	1	-2,212257	0,002438	1	0	0,002438	1	-2,212257	-0,00244
-0,7914	-0,33648	0,001102	-0,3957	-0,23481	0,000666	-0,16824	0,6043015	0,001538	0	1	0,001538	-0,16824	0,6043015	0,000666